ISSN 00224847

台灣農業研究

第五十五卷　　第二期

論　　說

穩定同位素在農業及生態環境上之應用
彭宗仁、劉滄棽、林幸助 79

研究報告

利用盒栽離葉接種法測定甜瓜白粉病病勢進展與條件
黃晉興、羅朝村、謝廷芳 91

賜諾殺濃餌劑防治柑桔園東方果實蠅
(雙翅目：果實蠅科)之效果評估
何坤耀、洪士程、陳健忠、程永雄 101

基徵草蛉對設施甜椒害蟲之防治效果評估
盧秋通、王清玲 111

氣象資源於水稻利用效率之探討 II - 水份利用效率
姚銘輝、陳守泓、陳述 121

期作對玉米籽粒果皮性狀表現之影響
謝光照 135

中華民國九十五年六月
行政院農業委員會農業試驗所出版
中華民國 臺灣 臺中縣 霧峰鄉

台灣農業研究(J. Taiwan Agric. Res.) 55(2):79~90(2006)

穩定同位素在農業及生態環境上之應用[1]

彭宗仁[2,5]　劉滄棽[3]　林幸助[4]

摘　　要

彭宗仁、劉滄棽、林幸助。2006。穩定同位素在農業及生態環境研究上之應用。台灣農業研究：55:79~90。

近 20 年由於「氣相同位素比值質譜儀」的改良和氫、氧、碳、氮和硫等穩定同位素的廣泛研究，穩定同位素的研究技術已實質增加我們對於這些元素在自然生態系中生地化循環的瞭解。雖然物質具相同之化學組成，但如果來源不同或經不同物理/化學過程所產生，其同位素比值會因同位素的分化作用而有差異。穩定同位素的研究主要是建立在此同位素分化作用所造成的同位素比值差異，而此同位素比值差異可被質譜儀測知。在了解造成此差異之原因後，進而幫助我們解釋環境變遷的訊息及意涵。為讓國內更多相關研究人員了解穩定同位素技術的可利用性，本文描述氣相同位素比值質譜儀之分析原理，及整理氫、氧、碳、氮和硫等同位素在農業及相關生態環境研究上應用的文獻。

關鍵詞：穩定同位素、同位素分化作用、氣相同位素比值質譜儀

前　　言

質譜儀最早是用於找尋穩定同位素，對大多數人而言，質譜儀分析就是表示有機分子結構的測定。然而，近 20 年內，「氣相同位素比值質譜儀」分析卻大幅地幫助我們增加對於自然生態系中有關 C、N、S、H 及 O 等元素之生地化循環的瞭解。

所謂同位素為元素之質子數相同，但因具不同之中子數導致質量數不同。每一元素包括有一個含量較豐的優勢‘輕’同位素，如表 1 中之^{12}C、^{14}N、^{16}O、^{32}S和^{1}H，和一個或兩個含量較少的‘重’同位素，如表 1 中之^{13}C、^{15}N、^{17}O、^{18}O、^{33}S、^{34}S和^{2}H。氫、氧、碳、氮和硫等穩定同位素普遍存在於大氣圈、水圈、岩石圈及生物圈中，它們在自然界中的含量豐富，且屬質量較輕的元素。曾經這些元素的同位素含量在自然界中被認為是固定不變的，然而，由於質譜儀測量精確性的提高，研究人員發現不同來源或經不同過程所產生的同一化學物質，其同位素比值間會因同位素分化作用 (isotope fractionation) 而產生些微的差異現象 (Barrie & Prosser 1996)。穩定同位素的研究即建立在此因同位素分化作用所造成的同位素組成差異，進而幫助我們探討及了解大氣圈、水圈、岩石圈、土壤圈及生物圈等環境的變遷訊息。穩定同位素之技術應用層面廣泛，在原領域之研究方法上提供了另一類似示蹤之研究技術，常獲得更深入之關鍵資訊。也因氫、碳、氮、氧和硫等元素屬質量較輕的元素，一物質中此等元素之不同同位素間含量的變化，就較質量數較重的元素容易偵測，這就

---

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2254 號。接受日期：95 年 4 月 5 日。
2. 國立中興大學土壤環境科學系助理教授。臺灣 臺中市。
3. 本所農業化學組助理研究員。臺灣 臺中縣 霧峰鄉。
4. 國立中興大學生命科學系教授。臺灣 臺中市。
5. 通訊作者，電子郵件：trpeng@dragon.nchu.edu.tw；傳真機：(04)22859950。

表 1. 氫、氧、碳、氮、硫等穩定同位素之同位素含量、同位素之比值、質譜儀待測氣體、參考標準及參考標準之同位素比值的綜合整理

Table 1. Summary of isotopic characteristic of hydrogen, oxygen, nitrogen, carbon and sulfur isotopes

Element	% natural abundance	Measured gas	Ratio	Reference	Abundance ratio of Reference
H	^{1}H: 99.985	H_2	$^{2}H/^{1}H$	VSMOW	1.5575×10^{-4}
	^{2}H: 0.015				
O	^{16}O: 99.795	CO_2	$^{18}O/^{16}O$	VSMOW	2.0052×10^{-3}
	^{17}O: 0.037				
	^{18}O: 0.204				
C	^{12}C: 98.89	CO_2	$^{13}C/^{12}C$	VPDB	1.1237×10^{-2}
	^{13}C: 1.11				
N	^{14}N: 99.633	N_2	$^{15}N/^{14}N$	AIR-N_2	3.677×10^{-3}
	^{15}N: 0.366				
S	^{32}S: 95.00	SO_2，SF_6	$^{34}S/^{32}S$	CDT	4.5005×10^{-2}
	^{33}S: 0.76				
	^{34}S: 4.22				
	^{36}S: 0.014				

是為何穩定同位素方面的研究，主要是利用氫、碳、氮、氧和硫等穩定同位素的原因 (Clark & Fritz 2000)。

同位素分化作用

同種元素雖進行相同的化學反應，但是輕、重同位素間因質量、鍵結能的差異，而導致化學或物理作用的反應速率不同，這就是所謂的同位素分化作用。也就是說當物質發生某種物理或化學變化時，在反應系統中，產物的同位素組成與原反應物間存在差異，即輕、重同位素以不同的比例分配在產物及反應物中。因此，藉由相關元素之同位素組成的變化，探討大氣圈、水圈、岩石圈及生物圈等自然環境變遷的訊息及意義。

以植物之光合作用為例，因植物參與光合作用途徑不同而有C_3、C_4及Crassulacean acid metabolism (CAM) 三型態的區別，此三型態植物雖均行光合作用，但因途徑不同導致有不同的碳同位素分化作用，故其穩定碳同位素亦有所差異。相對而言，C_4型植物具相對較多之 ^{13}C之同位素，而C_3型植物具相對較多之 ^{12}C之同位素 (Peterson & Fry 1987; Tieszen & Boutton 1988) ，因此生態學家常利用此碳同位素組成的特徵差異去鑑定植物的光合作用途徑。在硝酸鹽的脫氮作用過程中，因涉及微生物反應所發生的同位素分化作用，主要是微生物與介質反應時，要打斷與重的同位素原子間之鍵結要較與輕的同位素原子需要較多的能量，因此微生物偏好利用較輕的氮同位素 (^{14}N) 先於較重的同位素 (^{15}N) ，此原因造成由微生物所產生的物質 (產物) ，會較未被反應的物質 (反應物或基質) 具有較輕的同位素組成 (^{14}N相對較多) 。因此當微生物將NO_3^-中的N轉化成N_2時，會生成含較輕同位素 (^{14}N) 較多的氮氣，而殘餘的NO_3^-則會較富集 ^{15}N。在食物鏈方面，不同營養階之

生物會具不同的氮同位素組成，位階越高者，其體內之 ^{15}N會相對較多，例如肉食性與雜食性的動物會較草食性之動物體內含較多的 ^{15}N。因爲草食性動物食用植物，故草食性動物之氮同位素組成應與所食用植物相似，但草食性動物會排出含 ^{14}N較多之排泄物，故草食性動物體內會較所食用植物體含較多的 ^{15}N，依此，越高階之動物所含之 ^{15}N也會較多 (Ashkenas *et al.* 2004; Peterson 1999)。

是故，穩定同位素的研究主要是建立在因同位素分化作用所造成的同位素組成差異，進而幫助我們探討及了解大氣圈、水圈、岩石圈、土壤圈及生物圈等環境的變遷訊息。

穩定同位素分析

上述氫、氧、碳、氮和硫等元素屬質量較輕的元素，此等元素之不同同位素間含量的變化就比質量數較重的元素容易偵測，因此，穩定同位素方面的研究主要是利用氫、碳、氮、氧和硫等元素之同位素，而測定這些元素的同位素組成是利用所謂的「氣相同位素比值型質譜儀」 (gas isotope ratio mass spectrometer，簡稱 GAS-IRMS) ，主要包含兩大部分，一爲待測氣體萃取純化之前處理，另一爲質譜儀之質荷比分析 (圖 1) 。

樣品氣體萃取純化

所謂氣相，就是待測之樣品均須先轉換成氣體再進入質譜儀，目前H、O、C、N、S同位素測定所需轉換之氣體綜合如表 1，如欲做氮同位素分析，則先須把含氮樣品處理且純化出N_2；欲做碳同位素分析，也須先把含碳樣品處理且純化出CO_2，而各元素轉換成氣體之實驗，可參考相關同位素文獻。

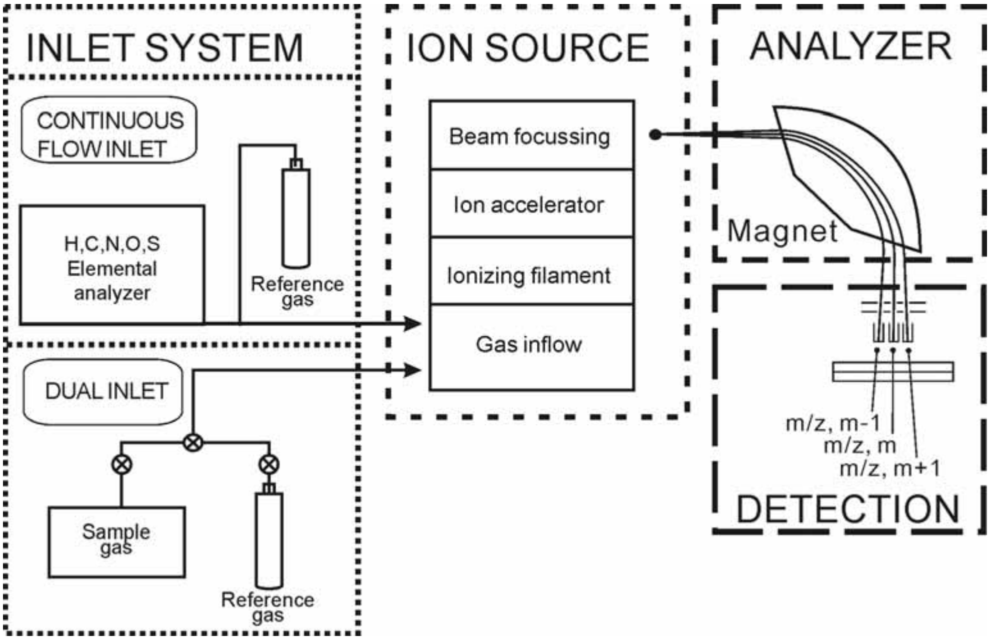

圖 1. 氣相同位素比值質譜儀之構造示意圖。

Fig. 1. Schematic of a gas isotope ratio mass spectrometer.

商業型氣相同位素比值型質譜儀首現於 1970 年代，由於儀器設備的精進，1980 年代中葉以後，

部分同位素之轉換成氣體的實驗，已可由早期較為費時的人工離線 (off-line) 處理，進步到以儀器取代並與質譜儀直接連線 (on-line) 分析，使得樣品分析比過去更為省時、快速，且使人為操作因素所產生之誤差降低，也使各領域應用同位素作為研究工具機會增多 (Barrie & Prosser 1996) 。例如有機質之氮、碳同位素組成測定之前處理，現已可由元素分析儀 (element analyzer) 及經類似氣相層析之分離純化過程，萃取純化出N_2與CO_2氣體；而有機質之氫、氧同位素組成測定之前處理，可由熱裂解 (pyrolysis) 元素分析儀及經類似氣相層析之分離純化過程，萃取純化出H_2與CO氣體，這些相關待測氣體再直接連線導入質譜儀，進行相關同位素之質荷比分析。所有連線將樣品轉化成氣體之前處理，均為依照早期人工離線前處理之原理設計，並且處理過程並不能產生同位素分化作用 (Barrie & Prosser 1996)。

質譜儀之質荷比分析

質譜儀構造可分成四個主要單元 (Clark & Fritz 2000)，如圖 1 所示，而優異的真空系統是質譜儀分析最重要的基礎，整個質譜儀系統中，須符合要求的真空度才能獲得精確的質譜分析。

導入系統 (Inlet system) ：待測樣品直接導入至游離室，游離室在樣品送入前需抽至足夠之真空度 (約 5×10^{-4} torr) 。穩定同位素研究之待測樣品為氣體，以現今之機型有雙進樣 (dual inlet) 及連續進樣 (continuous flow) 二類，雙進樣系統的分析樣品所需的樣品量較少，且精確度較高，而連續進樣系統的特色在於它較雙進樣系統能更快處理大量樣品。

游離區 (Ion source) ：在樣品氣流行進之垂直方向處置一游離源之燈絲 (filament)，通電產生高熱之燈絲會射出電子，而待測之氣體樣品經電子轟擊後即發生游離形成陽離子。

質荷比分析區 (Analyzer) ：在游離室所形成的陽離子，經電壓加速後進入質荷比分析區。在分析區磁場將離子依不同的質量電荷比而分成不同的離子束；在特定的情況下，可被收集的離子種類以下述之方程式區別：

$$\frac{m}{e} = \frac{B^2 r^2}{2V} \quad \text{.....................................(1)}$$

m/e 為質譜儀所要測定離子之質量 (m) 與電荷 (e) 的比值；不同同位素因 m/e 比值不同而被電磁場分離；V 為加速電壓，B 為磁場強度。

因此要獲得質譜，只需依一恆定速率改變加速電壓或磁場強度即可，通常是在固定磁場中改變電壓，而使每一 m/e 離子束由輕至重連續地帶至檢測器上。電磁裝置必須具有電流的安定性，甚至於要較靜電部分的電壓還要安定。

離子收集器 (Detection) ：由質荷比分析室分離出的離子束 (ion current beam) 通過縫隙，聚集在所謂的法拉第杯 (Faraday cup) 的收集器上。法拉第杯為一高歐姆值 (high ohmic value) 電阻，將離子束強度轉換成電壓，再經一放大器放大訊號而記錄之。

同位素比值質譜儀 (Isotope Ratio Mass, IRMS)

質譜儀因應用領域之不同而有不同之設計，穩定同位素方面的研究主要是利用同位素比值型質譜儀。所謂同位素比值就是質譜儀分析所得之結果以同位素間的含量比與一標準品之差值表示。為何要用同位素比值的原因是因為直接量測元素中不同同位素絕對含量並不容易，因同位素

絕對含量測定是屬原子級的物理分析，只能由一些精密複雜的質譜設備才能勝任，而這會阻礙廣泛利用質譜儀從事相關研究的機會；因此，如果只比較穩定同位素含量的比值，而不是絕對含量，這就容易多了。

但如只量測樣品的同位素比值，即使使用相同之質譜儀，但不同實驗室或不同時間所測定出來的比值與真值間因操作之差異 (或儀器誤差) 會有所差異。然而，如果在相同時間、相同儀器上使用一參數標準，我們就可消除儀器誤差進而比較樣品與標準品間之差值，因此，同位素測定慣以 δ 表之，其定義為：

$$\delta = (\frac{R_{Sample}}{R_{\text{Reference}}} - 1) \times 1000 \quad \text{..........................(2)}$$

因為同位素分化作用 (fractionation) 造成同位素含量之變化是微量的，因此一般以千分比 (‰) 為單位。上式中R為 $^{2}H/^{1}H$、$^{18}O/^{16}O$、$^{13}C/^{12}C$、$^{15}N/^{14}N$或 $^{34}S/^{32}S$，R_{Sample}為樣品之同位素比值，$R_{Reference}$為參考標準的同位素比值。

同位素分析之參考標準

式 (2) 中，為使全世界不同實驗室的測定值能互相比較，因此，穩定同位素分析都必須使用相同的參考比較標準，相關同位素分析所使用的參考標準及其之同位素比值如表 1 所示 (Clark & Fritz 2000)。例如氫、氧同位素的測定，樣品間的共同比較標準為 VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water)；碳同位素組成的測定是使用 VPDB (Vienna Pee Dee Belemnite)，硫同位素組成的測定是使用 CDT (Caňon Diablo meteorite troilite)，而氮同位素組成的測定是使用空氣中的氮氣作為樣品間的共同比較標準。

VSMOW 是國際原子能總署 (IAEA, International Atomic Energy Agency) 在太平洋赤道地區採集的海水，以其 $^{2}H/^{1}H$ 或 $^{18}O/^{16}O$ 比值作為比較基準 (表 1)。PDB 是碳酸鈣，產自美國南加州 Pee Dee 地層中的白堊紀箭石化石 (*Belemnitella americana*)；1980 年代以後此 PDB 標準品因已用盡，IAEA 乃利用 NBS-19 (白色大理石) 作為替代，將 NBS-19 與 PDB 間的 $^{13}C/^{12}C$ 的比值差異關係建立；也就是說，雖然實際標準品由 PDB 換成 NBS-19 作為分析的參考比較標準，但樣品之同位素組成仍換算成與 PDB 間的比較關係，以 VPDB 表示，這樣 1980 年代之前與之後的測值仍可互相直接比較。CDT 是取自 Caňon Diablo 隕石中的隕硫鐵 (troilite) 礦物，而利用此隕硫鐵礦物之 $^{34}S/^{32}S$ 比值作為比較標準的原因是它的比值變異小，另外它的硫同位素組成大致是陸圈物質硫同位素組成的平均值。因氮氣在大氣中是均勻混合且容易獲得，同時重複分析大氣中氮氣的 $^{15}N/^{14}N$ 比值 (3.677×10^{-3}) 差異很小，因此將它作為樣品氮同位素組成的測定的比較標準 (Clark & Fritz 2000)。

應用研究

穩定同位素的研究主要是建立在因同位素分化作用所造成的同位素組成差異，進而幫助我們探討及了解大氣圈、水圈、岩石圈、土壤圈及生物圈等環境的變遷訊息，因此穩定同位素的研究被廣泛應用在環境領域中，以下摘舉幾個相關領域研究文獻做簡扼之介紹。下述之文獻因比值質譜儀之發展與穩定同位素技術的應用大致有三個時間區帶分布：1985 年以前為各種穩定同位素之基礎與初步環境之應用研究，此區帶文獻之意義在於建立各種穩定同位素應用的研究原理以及各領域背景

測值，而後續之相關研究都必須了解此應用原理及背景測值才能有進一步之研究。其後至 2000 年之文獻 (此時比值質譜儀已獲改良，分析精確度提高且可大量分析標本) ，主要是利用一或二種穩定同位素技術在各自專業領域內探討其專業內容；而 2000 年以後至今的研究，主要是在單一課題研究上使用多種穩定同位素同時進行分析以做更深入的探討，以及同位素技術應用在跨領域的共同研究，雖難以在下述相關領域歸類，但後續發表之文獻也將著重在此。

環境污染

硝酸鹽的來源及轉化：在農作地區，肥料、土壤有機氮和廄肥爲水體中硝酸鹽的主要來源，硝酸鹽在大部份土壤中爲移動性的，易受淋洗和藉由表面逕流或入滲進入水體中。硝酸鹽的輸入包括大氣沈降中的NO_3^- 及自含氮的有機或無機化合物經微生物反應所產生；而輸出的部分則有微生物脫氮作用、同化作用，植物吸收及淋洗等。爲了辨別水體中的硝酸鹽 (NO_3^-) 與農業活動施用肥料的關係，可以從NO_3^- 的穩定氮、氧同位素組成的研究來推斷。不同來源的NO_3^- 會表現出不同的氮同位素特徵值 ($\delta^{15}N$) ，如大氣沉降的氮之$\delta^{15}N$值約爲 -4～5‰；化學肥料氮的$\delta^{15}N$值範圍爲 -5～5‰，土壤有機氮的$\delta^{15}N$值範圍爲 3～8‰，人類和動物排泄物的$\delta^{15}N$值範圍爲 10～25‰ (Kreitler & Jones 1975；Kreitler 1979；Girard & Hillaire-Marcel 1997) 。且硝酸鹽輸入或輸出的各種反應中，不同型態的氮轉化作用受環境、生物型態、反應物來源等因素影響，會導致硝酸鹽產物中氮、氧同位素組成的差異。因此，分析水體中硝酸鹽的穩定氮、氧同位素組成，已廣泛成爲提供有關地表水和地下水中硝酸鹽可能的來源和轉變的有利技術 (Wassenaar 1995；Cey *et al.* 1999；Silva *et al.* 2000；Peng *et al.* 2004)。

溫室效應氣體：自 18 世紀工業革命以來，大氣中之CO_2含量由西元 1800 年的 280 ppmv持續增加至今日約 330 ppmv。由極地冰層岩芯中所測得西元 1800 年大氣CO_2的$\delta^{13}C$值約爲 -6.5‰，而今日大氣CO_2的$\delta^{13}C$值約爲 -8.0‰ (Siegenthaler & Oescher 1987)，此碳同位素組成變輕的原因主要與石化燃料有關，因石化燃料主要是陸源植物殘骸形成，陸源植物的$\delta^{13}C$值爲 -25‰左右，因此石化燃料燃燒後所產生的CO_2進入大氣後，不僅增加大氣CO_2的濃度，同時也降低了大氣CO_2的$\delta^{13}C$值。相關海洋學者也利用CO_2的$\delta^{13}C$特徵值進行海氣交換、洋流移動追蹤及全球碳收支平衡的研究 (Broecker & Peng 1989)。

CH_4也是主要的溫室效應氣體，經由直接量測大氣中CH_4的濃度顯示，自 1978 年以來，每年增加 1%的濃度，現今大氣中CH_4的濃度爲 1700 ppbv (Blake & Rowland 1988)，而增加的原因主要與反芻動物、稻米種植及生質燃燒有關。生物性的CH_4有兩個主要來源，一是經由醋酸發酵作用產生，另一是CO_2的還原作用；因作用機制的不同，此二來源CH_4的$\delta^{13}C$值亦會不同，經由醋酸發酵作用所產生CH_4的$\delta^{13}C$值約爲 -40‰，而經由CO_2還原作用所產生CH_4的$\delta^{13}C$值較輕，約爲 -65‰。藉此我們就可估算各種來源的CH_4對大氣的貢獻量 (Sugimoto & Wada 1993;Nakagawa *et al.* 2002)。

生態與食物網

如前所述，在陸地的生態系統中，因在C_3和C_4或CAM植物之間具明顯的同位素差異，故可用來作爲動物攝食特性的追蹤；例如在C_3生態系中攝食的生物，其體內組織的$\delta^{13}C$值就會較在C_4生態系中攝食的生物爲輕 (Peterson & Fry 1987；Tieszen & Boutton 1988) 。與陸生或淡水的生物群落常單一利用碳元素之同位素 ($\delta^{13}C$) 作爲示蹤同位素比較，海洋食物網的研究因較複雜，故需利用更多種元素相互比對印證 (Schaffner & Swart 1991;Hobson *et al.* 1997; Peterson 1999; Huiskes *et al.* 2006) ，例如在河、海交界的生態環境中，就可利用$\delta^{13}C$、$\delta^{15}N$和$\delta^{34}S$等同位素資訊共同判斷該生

態區營養鹽的輸入，主要是來自陸地河川的輸入，或是由海洋湧升流帶來的食物來源 (Chisholm *et al.* 1982; Krouse 1988; Hobson 1990; Mizutani *et al.* 1990; Ben-David *et al.* 1997; Hobson *et al.* 1999) ；一般而言，來自陸域的營養鹽較來自海洋源的具較輕之$\delta^{13}C$、$\delta^{34}S$及較重之$\delta^{15}N$值。

同時，如前所述，由碳、氮同位素組成的比較，可以反映出一生態系的營養階層；生物體之組織的碳、氮同位素組成將隨營養階層提高而上升，而在一生態中的最低營養階層的生物，也就是該生態系的基礎營養來源 (Peterson & Howarth 1987；Monteiro *et al.* 1991；Ashkenas *et al.* 2004) 。因此，藉由同位素資訊所建立的營養階層，進而了解何種生物在該生態系中是扮演主要生產者，或是消費者。

動物移棲

過去常用來追蹤動物活動的方法，常倚賴個體外在的標記和其後捕捉的鑑別，但這種方法一般不適於大部分的小型或者非獵物的動物，而穩定同位素的分析則提供了另一種選擇。基本上棲息地食物網的相關同位素特徵可由動物組織中的穩定同位素組成反映出來。Hobson (1999) 對於利用穩定同位素追蹤野生生物的起源或遷徙的文獻有很完整的綜合整理。

動物移棲與食物之供應有關，因爲不同食物網的同位素特徵，可能因相異的生地化作用而具有地理空間變異。例如沿岸與離岸、海生與淡水、陸地水生與旱生、以及C_3與C_4各生態系彼此間就存在碳、氮同位素組成之特徵差異；而各生態食物網的同位素特徵，可經由食物網中的消費者攝食而被保留在體內組織中 (DeNiro & Epstein 1978；1981) 。因此，如果動物在同位素組成特徵有所區別的食物網間移動，體內組織就會保留先前攝食位置時期的同位素訊息 (Tieszen & Boutton 1988；Hobson & Clark 1992)；是故，藉由分析動物體內組織中的相關同位素，就可了解動物的移棲過程中可能經過的生態系。

以鳥類爲例，因爲不同緯度或高度的地區，其降雨會因不同的同位素分化效應而有不同的 δD 值；因此，鳥類在不同階段的移棲因攝食不同地域的水體，而此不同地域水體的氫同位素組成特徵就會保留在其羽毛組織中 (Hobson *et al.* 1994) 。例如 Hobson & Wassenaar (1996) 分析新熱帶區鳴鳥 (songbird) 羽毛之氫同位素組成，配合及比較區域性雨水的氫同位素分析，因而確定鳴鳥在移棲過程中的繁殖與過冬地區。

農產品鑑定

誤貼標籤和攙雜假貨是食品工業在很多地區存在的問題，它不僅威脅誠實商人的生計，同時也影響消費者的權利。對大多數食品來說，真實的商品可由地理的來源、植物/品種來源或有無攙雜物等方式區分。

蜂蜜：植物因生理特性，C_3植物具有較C_4植物具較輕的$\delta^{13}C$值而有所區別。大部分蜂蜜生產區屬C_3植物分布區，因此蜂蜜的 ^{13}C組成約應爲-25‰，而由玉米或蔗糖爲C_4型植物，故用其爲原料所製造的糖漿之$\delta^{13}C$值約爲 -10‰ (Doner & White 1977) 。因此，如果蜂蜜中摻雜了其他如玉米或蔗糖來源的糖類，其$\delta^{13}C$值會介於-25 至-10‰間 (Stocker *et al.* 2006)。

酒類：酒類的釀造過程雖會造成輕微的 ^{13}C分化作用，但仍可顯示出不同釀造原料間$\delta^{13}C$值的差異，例如萊姆酒是從C_4植物甘蔗釀造出來的，故其$\delta^{13}C$值約爲 -13‰，而白蘭地是由C_3植物之葡萄釀製而成的，故其$\delta^{13}C$值約爲 -25‰ (Bauer-Christoph *et al.* 1997) ，而工業酒精之$\delta^{13}C$值約爲-32‰；因此，如果市售萊姆酒之$\delta^{13}C$值介於-30 至-10‰間，則很有可能是摻有工業酒精 (Craig 1953；Silverman & Epstein 1958；Bauer-Christoph *et al.* 2003)。

此外，植體內的水會因葉氣孔的蒸發，而會富集較重的 ^{18}O 與 D 原子，使得 δ^{18}O 與 δD 值會較其所利用的地下水為重。因此，如果市售酒類或果汁的 δ^{18}O 與 δD 值沒有如原汁般具較重之 δ^{18}O 與 δD 值，則很有可能是摻水調製之商品 (Bricout 1982)。

稻米產地：存在稻米中碳水化合物的氧原子主要來自植物根部吸收的水，植體內的水會因葉氣孔的蒸發，而會富集較重的 ^{18}O原子；稻米如果是生長在相對低濕度的地區，因蒸發速率較高故導致植體內的碳水化合物會具較重的δ^{18}O值。同時，由於水的同位素分化效應影響，較高緯度、較低溫度地區水體之δ^{18}O值較輕，由這些地區種植的稻米之δ^{18}O值亦會較輕。因為不同地區因氣候水文條件不同，因此不同地區稻米之δ^{18}O值就會不同。同時，存在於稻米碳水化合物中的碳原子主要源自空氣的CO_2，因為植物碳水化合物的δ^{13}C值與大氣的CO_2之值不同，這是因為CO_2透過葉氣孔的擴散作用進入植體，再由擴散作用到固定CO_2的羧基化反應的部位。這些擴散反應利於植物吸收 ^{12}C 勝於 ^{13}C原子，並且受光度、土壤含水率和相對濕度方面的變化等環境因素影響。同樣地，不同的環境因子導致不同地區稻米之δ^{13}C值亦會不同。因此，透過稻米碳、氧同位素組成的測定，可幫助我們鑑別稻米可能的產地 (Kelly *et al.* 2002)。

土壤有機質轉化

土壤是陸地的生態系統不可或缺的部分，特別是在自然環境中賦存的碳同位素研究。利用穩定的碳、氮同位素作為天然示蹤劑，在調查土壤碳、氮循環和土壤營養關係過程中，已經證明是非常有用，對於土壤中有機質的轉化更能提供進一步之訊息，幫助我們了解土壤營養狀態。例如分析土壤中CO_2的δ^{13}C，使我們了解土壤中碳素的來源；分析土壤中碳酸鹽的δ^{13}C，可幫助我們了解土壤形成作用過程中的部分機制 (Standdon 2004)。新近的方法和技術發展將同位素的應用可能性擴展到陸地生態學，增進我們的土壤生態系統結構與作用的知識，並促進農業永續資源管理系統的發展。

因現今國內應用穩定同位素技術侷限在少數一、二領域及少數之研究人員，而由國外之研究顯示，它應可更廣泛應用在農業及相關生態環境研究上。因此，本文期能讓更多研究人員了解穩定同位素技術的可利用性外，並期此技術能對國內相關領域之研究深度及廣度有所助益。

引用文獻 (Literature cited)

Ashkenas, L. R., S. L. Johnson, S. V. Gregory, J. L. Tank, and W. M. Wollhein. 2004. A stable isotope tracer study of nitrogen uptake and transformation in an old-growth forest stream. Ecology 85: 1725-1739.

Barrie, A. and S. J. Prosser. 1996. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometer. p.1-46. *in*: Mass Spectrometry of Soils. (Boutton, T. W. and S. I. Yamasaki, eds.) Marcel Dekker, Inc, New York.

Bauer-Christoph, C., H. Wachter, N. Christoph, A. Roβmann, and L. Adam. 1997. Assignment of raw material and authentication of spirits by gas chromatography, hydrogen- and carbon-isotope ratio measurements. Z. Lebensm. -Unters. Forsch. 204: 445-452.

Bauer-Christoph, N. Christoph, C., B. O. Aguilar-Cisneros, M. G. López, E. Richling, A. Rossmann ,and P. Schreie. 2003. Authentication of tequila by gas chromatography and stable isotope ratio

analyses. Eur. Food Res. Technol. 217: 438-443.

Ben-David, M., T. A. Hanley, D. R. Klein, and D. M. Schell. 1997. Seasonal diets of coastal and riverine mink: the role of spawning Pacific salmon. Can. J. Zool. 75: 803-811.

Blake, D. R. and F. S. Rowland. 1988. Continuing worldwide increase in tropospheric methane. Science 239: 1129-1131.

Bricout, J. 1982. Possibilities of stable isotope analysis in the control of good products. p.483-493. *in*: Stable Isotopes. (Schmidt, H. L., H. Förstel, and K. Heinzinger, eds.) Elsever, Amsterdam.

Broecker, W. S. and T. H. Peng. 1989. Tracers in the Sea. Lamont Dotherty Geological Observatory, Palisader, New York. 690 pp.

Cey, E. E., D. L. Rudolph, R. Aravena, and G. Parkin. 1999. Role of the riparian zone in controlling the distribution and fate of agricultural nitrogen near a small stream in southern Ontario. J. Hydrol. 37: 45-67.

Chisholm, B. S., D. E. Nelson, and H. P. Schwarcz. 1982. Stable-carbon isotopes as a measure of marine versus terrestrial protein in ancient diets. Science 216: 1131-1132.

Clark, I. and P. Fritz. 2000. Isotope ratio mass spectrometry. p.13-16. *in*: Environmental Isotopes in Hydrogeology. (Clark, I. and P. Fritz, eds.) Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.

Craig, H. 1953. The geochemistry of the stable carbon isotope. Geochim. Cosmochim. Acta 3: 53-92.

DeNiro, M. J. and S. Epstein. 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. Geochim. Cosmochim. Acta 42: 495-506.

DeNiro, M. J. and S. Epstein. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. Geochim. Cosmochim. Acta 45: 341-351.

Doner, L. and J. W. White. 1977. Carbon-13/carbon-12 ratio is relatively uniform among honeys. Science 197: 891-892.

Girard, P. and C. Hillaire-Marcel. 1997. Determining the source of nitrate pollution in the Niger discontinuous aquifers using the natural $^{15}N/^{14}N$ ratios. J. Hydrol. 199: 239-251.

Hobson, K. A. 1990. Stable isotope analysis of marbled murrelets: evidence for freshwater feeding and determination of trophic level. Condor 92: 896-903.

Hobson K. A. 1999. Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review. Oecologia 120: 314-326.

Hobson, K. A. and R. W. Clark. 1992. Assessing avian diets using stable isotopes. I. Turnover of carbon-13. Condor 94: 181-188.

Hobson, K. A., M. Drever, and G. Kaiser. 1999. Norway rats as predators of burrow-nesting seabirds: insights from stable isotope analysis. J. Wildl. Manage. 63: 14-25.

Hobson, K. A., K. D. Hughes, and P. J. Ewins. 1997. Using stable-isotope analysis to identify endogenous and exogenous sources of nutrients in eggs of migratory birds: applications to Great Lakes contaminants research. Auk 114: 467-478.

Hobson, K. A., J. F. Piatt, and J. Pitocchelli. 1994. Using stable isotopes to determine seabird trophic

relationships. J. Anim. Ecol. 63: 786-798.

Hobson, K. A. and L. I. Wassenaar. 1996. Linking breeding and wintering grounds of neotropical migrant songbirds using stable hydrogen isotopic analysis of feathers. Oecologia 109: 142-148.

Huiskes, A. H. L., H. T. S. Boschker, D. Lud, and T. C. W. Moerdijk-Poortvliet. 2006. Stable isotope ratios as a tool for assessing changes in carbon and nutrient sources in Antarctic terrestrial ecosystems. Plant Ecol. (in press)

Kelly, S., M. Baxter, S. Chapman, C. Rhodes, J. Dennis, and P. Brereton. 2002. The application of isotopic and elemental analysis to determine the geographical origin of premium long grain rice. Eur. Food Res. Technol. 214: 72-78.

Kreitler, C. W. 1979. Nitrogen-isotope ratio studies of soils and groundwater nitrate from alluvial fan aquifers in Texas. J. Hydrol. 42: 147-170.

Kreitler, C. W. and D. C. Jones. 1975. Natural Soil Nitrate: The cause of the nitrate contamination of ground water in Runnels country, Texas. Ground Water 13: 1-9.

Krouse, H. R. 1988. Sulfur isotope studies of the pedosphere and biosphere. p.424-444. *in*: Stable Isotopes in Ecological Research. (Rundel, P. W., J. R. Ehleringer, and K. A. Nagy, eds.) Springer, Berlin.

Mizutani, H., M. Fukuda, Y. Kabaya, and E. Wada. 1990. Carbon isotope ratio of feathers reveals feeding behavior of cormorants. Auk 107: 400-403.

Monteiro, P. M. S., A. G. James, A. D. Sholto-Douglas, and J. G. Field. 1991. The $\delta^{13}C$ trophic position isotope spectrum as a tool to define and quantify carbon pathways in marine food webs. Mar. Ecol. Prog. Ser. 78: 33-40.

Nakagawa, F., N. Yoshida, A. Sugimoto, E. Wada, T. Yoshioka, S. Ueda, and P. Vijarnsorn. 2002. Stable isotope and radiocarbon compositions of methane emitted from tropical rice paddies and swamps in Southern Thailand. Biogeochemistry 61: 1-19.

Peng, T. R., W. J. Zhan, Y. W. Lin, and C. L. Liu. 2004. Evaluation of the origin and transformation of nitrate in river water of Nantou area using the nitrogen isotopes in NO_3^-. Soil and Environ. 7: 167-182. (in Chinese with English abstract)

Peterson, B. J. 1999. Stable isotopes tracers of organic matter input and transfer in benthic food web: A reviw. Acta Oecol. 20: 479-487.

Peterson, B. J. and B. Fry. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. Annu. Rev. Ecol. Syst. 18: 293-320.

Peterson, B. J. and R. W. Howarth. 1987. Sulfur, carbon and nitrogen isotopes used to trace the organic matter flow in the salt-marsh estuaries of Sapelo Island, Georgia. Limnol. Oceanogr. 32: 1195-1213.

Schaffner, F. C. and P. K. Swart. 1991. Influence of diet and environmental water on the carbon and oxygen isotopic signatures of seabird eggshell carbonate. Bull. Mar. Sci. 48: 23-38.

Siegenthaler, U. and H. Oescher. 1987. Biospheric CO_2 emissions during the past 200 years reconstructed

by deconvolution of ice core data. Tellus 39B: 140-154.

Silva, S. R., C. Kendall, D. H. Wilkison, A. C. Ziegler, C. C. Y. Chang, and R. J. Avanzino. 2000. A new method for collection of nitrate from fresh water and the analysis of nitrogen and oxygen isotope ratios. J. Hydrol. 228: 22-36.

Silverman, S. R. and S. Epstein. 1958. Carbon isotopic compositions of petroleum and other sedimentary organic materials. Bull. Am. Assoc. Pet. Geol. 42: 998-1012.

Standdon, P. L. 2004. Carbon isotopes in functional soil ecology. Trends Ecol. Evol. 19: 148-154.

Stocker, A., A. Rossmann, A. Kettrup, and E. Bengsch. 2006. Detection of royal jelly adulteration using carbon and nitrogen stable isotope ratio analysis. Rapid Commun. Mass Spectrom. 20: 181-184.

Sugimoto, A. and E. Wada, 1993. Carbon isotopic composition of bacterial methane in a soil incubation experiment: Contribution of acetate and CO_2/H_2. Geochem. Cosmochim. Acta 57: 4015.

Tieszen, L. L. and T. W. Boutton. 1988. Stable isotopes in terrestrial ecosystem research. p.167-195. *in*: Stable Isotopes in Ecological Research. (Rundel, P. W., J. R. Ehleringer, and K. A. Nagy, eds.) Springer, Berlin.

Wassenaar, L. I. 1995. Evaluation of the origin and fate of nitrate in the Abbotsford Aquifer using the isotopes of ^{15}N and ^{18}O in NO_3^-. Appl. Geochem. 10: 391-405.

Application of Stable Isotopes in Agriculture and Environmental Studies[1]

Tsung-Ren Peng[2,5], Tsang-Sen Liu[3] and Hsing-Juh Lin[4]

Abstract

Peng, T. R., T. S. Liu, and H. J. Lin. 2006. Application of stable isotopes in agriculture and environmental studies. J. Taiwan Agric. Res. 55:xxx-xxx.

The understanding of biogeochemical cycle of hydrogen, oxygen, carbon, nitrogen, and sulfur elements in nature ecosystem have increased substantially in the past two decades owing to the improvement of gas isotope ratio mass spectrometer and the wide application of isotopic studies with these elements. Although the products have same chemical compositions, they will exhibit various isotopic ratios if they produced from different sources or by different chemical/physical processes. The stable isotopic research is established by studying the discrepancy in isotope ratio, which was caused by isotope fractionation, and the isotopic ratio difference can be determined by mass spectrometer. After understanding the reasons that cause isotopic discrepancy; then we can further interpret the information and the meaning of environmental change. To let more domestic relevant researchers understand the applicable techniques of stable isotopes, this article not only introduces the principles of isotopes measurements by gas isotope ratio mass spectrometer, but also integrates the experiences of hydrogen, oxygen, carbon, nitrogen, and sulfur isotopes in agriculture and environmental applications that were described in papers.

Key words: Stable isotope, Isotope fractionation, Gas isotope ratio mass spectrometer.

---

1. Contribution No.2254 from Agricultural Research Insititute, Council of Agriculture. Accepted: April 5,2006.
2. Assistant Professor, Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC.
3. Assistant Researcher, Agricultural Chemistry Division, ARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
4. Professor, Department of Life Sciences, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC.
5. Corresponding auther, e-mail: trpeng@dragon.nchu.edu.tw; Fax: (04)22859950.

台灣農業研究(J. Taiwan Agric. Res.) 55(2):91~100(2006)

利用盆栽離葉接種法測定甜瓜白粉病病勢進展與條件[1]

黃晉興[2, 5] 羅朝村[3] 謝廷芳[4]

摘 要

黃晉興、羅朝村、謝廷芳。2006。利用盆栽離葉接種法測定甜瓜白粉病之病勢進展。台灣農業研究 55:91-100。

將甜瓜 (金輝品種) 之離葉於透明塑膠盒內以葉柄浸漬養液的方式培養，於 28～32℃栽培 6～10 days後可由葉柄長出較多的根以維持葉片活力。以吹落孢子的方式將人工培養的白粉病菌*Podosphaera xanthii*分生孢子接種於已長根之離葉上，爾後培養於 24℃/20℃ (Day / night) 光照 12 hrs之定溫箱，接種葉片發病面積隨接種濃度與接種時間之增加而增加。接種濃度 30 與 100 spores/cm^{2}之處理 4 days後即可以肉眼觀察到病斑，並於 12 days後發病面積均達 90%；若以接種濃度 10 spores/cm^{2}之處理經 12 days後發病面積約為 60%。本病之發病適溫為 20 與 24℃，12℃的環境下，接種 18 days後才能造成離葉發病面積達 50%以上，而 8℃以下與 32℃以上接種 21 days仍未見病斑產生。同一植株不同位葉經盆栽離葉接種檢測，彼此發病面積呈不顯著差異，但下位葉較易黃化不適合作為盆栽離葉接種。以 10 spores/cm^{2}之接種源濃度於 24℃/20℃ (Day / night) 光照 12 hr接種條件下，以盆栽離葉接種法測定甜瓜白粉病菌於甜瓜 (金輝、秋蜜)、胡瓜 (彩綠二號)、越瓜 (銀華)、南瓜 (仙姑)、蒲瓜 (春鶯) 等瓜類葉片的白粉病表現，發現各種瓜類均受感染，但以蒲瓜 (春鶯) 發病面積為 42.5%，明顯較其他瓜類發病面積低 (62.5～72.5%) 。

關鍵詞：甜瓜、白粉病、離葉接種。

前 言

根據記載，台灣瓜類作物白粉病主要由 *Sphaerotheca fuliginea* (Schlechtendahl) Pollacci 所引起 (Tsay & Tung 1994) ，而瓜類作物白粉病菌自 2000 年已被更名為 *Podosphaera xanthii* (Castagne) U. Braun & N. Shishkoff (syn. *Sphaerotheca fuliginea auct. p.p.*; *S. fusca* (Fr.) S. Blumer) (Braun & Takamatsu 2000；Shishkoff 2000)，爾後學者便以其為名 (Nicot *et al*. 2002)。該病原菌為一種絕對寄生菌 (obligate parasite)，只能利用寄主活體的養分，無法於人工培養基生長及繁殖，寄生的部位主要為葉，亦會擴展至葉柄及莖蔓產生白粉狀病斑，此病害主要影響作物光合作用，降低瓜果風味、品質及產量 (Sitterly 1978；Tsay & Tung 1994)，但不會發生於地下部之植物組織。在適合的環境條件下，由植物表皮直接侵入感染，而後產生大量的分生孢子隨風傳播 (Sitterly 1978)。

---

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2255 號。接受日期：95 年 4 月 12 日
2. 本所植物病理組助理研究員。臺灣 臺中縣 霧峰鄉。
3. 國立虎尾科技大學生物科技系教授。臺灣 雲林縣 虎尾鎮。
4. 本所花卉研究中心研究員。臺灣 雲林縣 古坑鄉。
5. 通訊作者，電子郵件：jhhuang@wufeng.tari.gov.tw；傳真機：(04)23321508。

研究白粉病菌侵染及病害進展須進行接種的過程，最簡單的接種方式是利用區集設計 (block design)，將感染白粉菌的植株分散置放於每一區塊做爲接種源 (Ziv & Zitter. 1992)。爲求控制接種源濃度，亦有學者以孢子懸浮液定量後接種 (Bohn & Whitaker 1964；Reeser *et al*. 1983)，或添加氟化物粉末以求接種源分散 (Lumbroso *et al*. 1982；Menzies *et al*. 1991)，然而瓜類白粉病菌在有水的環境下孢子發芽率降低 (Sivapalan 1993)，以人工或機器吹落分生孢子的方式較合乎自然狀況且影響孢子發芽或侵染的機會最小 (Nicot *et al*. 2002)，故有許多學者利用此方式來進行白粉病菌接種 Cohen 1993；Moseman *et al*. 1965)。另外由於白粉病菌散佈甚易，若以作物全株接種所需材料及空間甚大，且不易與其他來源的白粉病菌區隔，故許多學者利用葉片圓盤或子葉接種法來培養甜瓜白粉病菌，並藉以測定生理小種及檢測甜瓜品種抗感病性 (Bardin *et al*. 1997；Cohen 1993；Epinet *et al*. 1993；Kaur & Jhooty 1986. Mohamed *et al*. 1995)，然而所準備的葉片圓盤接近無菌狀態，一旦有其他微生物污染則易導致葉片圓盤褐化腐敗。以密閉培養皿所形成之濕室雖可進行瓜類露菌病室內接種 (Tsai 1987)，但由於在有水的狀態下會影響甜瓜白粉病的進展，故本研究乃開發不同的甜瓜離葉接種法以利評估白粉病病害發展。

材料與方法

甜瓜離葉盒內栽培模式

將甜瓜 (金輝品種) 種植於盛有泥炭土 (Bio-mix) 之五吋塑膠盆，置於 28℃ / 22℃ (Day / night) 光照 12 hrs 之定溫箱中栽培，4 至 5 wks 後，取植株葉片大小相近之展開葉以自來水洗淨，將葉柄插入離葉栽培盒內密封栽培 (圖 1A)，栽培盒爲兩組直徑 14 cm×高 5. 5 cm 之有蓋塑膠盒上下連接，連接層穿孔以供葉柄伸過至下盒，上盒放葉片，下盒盛有水耕養液 250 ml (Huang 1991)，或摻入適量滅菌過的珍珠石以供葉柄維持伸展、長根及吸收水分。培養初期 2 天保持密閉，爾後於盛有葉片之上盒盒蓋開 2 個直徑 0.5 cm 之小孔以避免水珠累積。

供試接種源備製、接種方式與病害調查方法

供試菌株爲農業委員會農業試驗所保存之菌株 Px-001 (*Podosphaera xanthii* race 1, 9912-WF-A1-1) (Huang *et al*. 2002) ，爲台中縣霧峰鄉農業試驗所甜瓜 (金輝品種) 栽培田單孢分離之菌株，本供試菌以葉片圓盤接種法於 16℃培養 12～16 days 或 20℃培養 10～14 days，使白粉病菌長滿整個葉片圓盤作爲接種源 (Huang *et al*. 2002)，該分生孢子於塗有醋酸纖維玻片 (Tsay & Tung 1994) 之發芽率爲 50-65%。將已長根的盒栽離葉置於高 120 cm、底直徑 60 cm 之金屬圓椎管底部，並於葉片旁放置有數塊 1 平方公分水瓊脂平板之載玻片以計量接種源濃度，於圓椎管上管口以加壓氣流將供試菌孢子直接吹落於葉片上，而載玻片上之水瓊脂塊置於光學顯微鏡下計量接種源濃度 (每平方公分之孢子量)，由於接種後才計量孢子數，故無法精確達到預定的接種源濃度，但以誤差 10%範圍內爲原則，接種後蓋上原塑膠蓋。當白粉病病徵出現時，以目測方式記錄病斑佔葉片面積之百分比視爲該葉片之發病面積率 (%) 。

圖 1、 (A) 盒栽甜瓜離葉。 (B) 接種 3-100 spore/cm^{2}甜瓜白粉病菌*Podosphaera xanthii*於 24/20℃培養 12 days 後所產生的白粉病病斑。

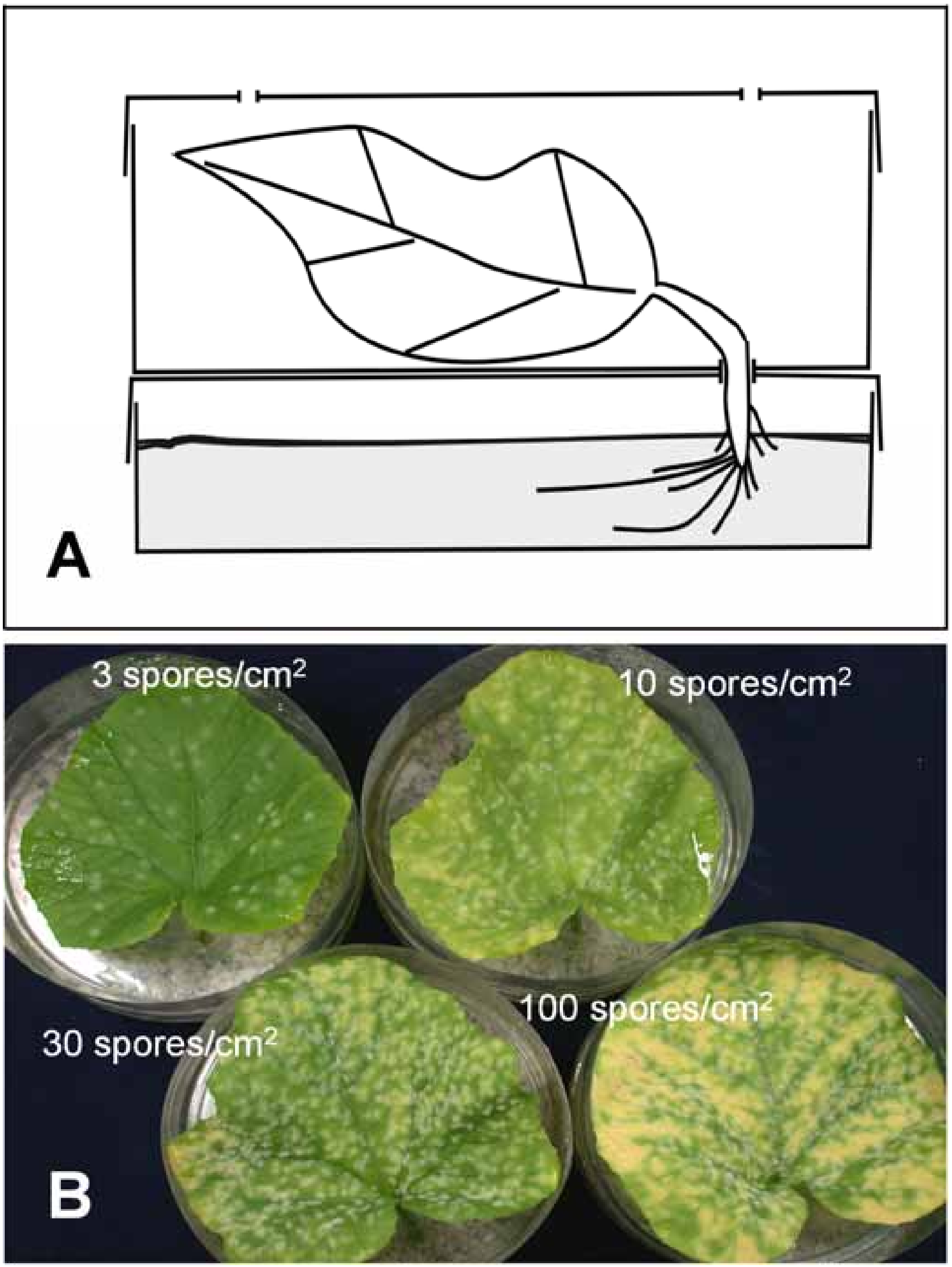

圖 1、 (A) 盒栽甜瓜離葉。 (B) 接種 3-100 spore/cm^{2}甜瓜白粉病菌*Podosphaera xanthii*於 24/20℃培養 12 days 後所產生的白粉病病斑。

Fig. 1. (A) Cultured leaf method. Melon roots grow well from detached leaves. (B) Disease lesions of powdery mildew appear after 12 days at 24℃ inoculated with conidia of *Podosphaera xanthii* (3 -100 spore/cm^2).

溫度對盒栽甜瓜離葉根系發育之影響

將前述培育已長根的甜瓜 (金輝品種) 盒栽離葉，置於8、12、16、20、24、28、32及36℃光照12 hrs 之定溫箱中，每處理5重複，觀察葉片活力，並於栽培4-14 days (間隔2 days) 記錄長根之數目及長度，試驗重複進行二次。

接種源濃度對甜瓜離葉白粉病之影響

將前述培育已長根的甜瓜 (金輝品種) 盒栽離葉接種經單孢培養之供試甜瓜白粉病菌菌株，以前述接種方法將接種供試白粉病菌 3±1、5±1、10±2、30±3 或 100±5 spores/ cm^2 之濃度，將載玻片上之水瓊脂塊於光學顯微鏡下計量每平方公分之孢子量，以不接種白粉病菌為對照，每處理4重複，置於 24℃ / 20℃ (Day / night) 光照12 hrs 之定溫箱中，每 2 days 記錄發病面積率 (%)，試驗重複進行一次。其濃度調整方法以預估半片葉圓盤上的接種源量 (約10,000個分生孢子) 吹落於圓錐塔底 (面積2827 cm^2)，可出現約 3 spores/ cm^2 之濃度。

利用盒栽離葉接種法測試溫度對甜瓜白粉病之影響

將前述培育已長根的甜瓜 (金輝品種) 盒栽離葉接種經單孢培養之供試甜瓜白粉病菌菌株，以前述接種方法接種，接種源濃度為 10±2 spores/ cm^2，三重複，以不接種白粉病菌為對照，置於12～36℃ (間隔4℃) 光照12 hrs 之定溫箱中，12 days 後記錄發病面積率 (%)，試驗重複進行一次。

甜瓜各位葉離葉接種白粉菌之結果

取甜瓜 (金輝) 5 wks 苗齡之第1、2、3、4、5、6、7、8及9位葉之真葉 (自老葉算起) 做成盒栽離葉，於28℃培養 7 days 後待離葉長根後，接種每平方公分 10±2 個孢子，4重複，以不接種白粉病菌為對照，置於24/20℃ (日/夜溫) 光照12 hrs 之定溫箱中，12 days 後記錄發病面積率 (%)，試驗重複進行一次。

利用離葉盒栽接種法測定不同瓜類對甜瓜白粉病菌之反應

所測試瓜類品種皆購自於農友種苗公司。取培養於生長箱之甜瓜 (金輝、秋蜜)、胡瓜 (彩綠 2 號)、越瓜 (銀華)、蒲瓜 (春鶯)、南瓜 (仙姑) 之展開葉，製備前述長根的盒栽離葉，於 28℃培養 7days後待離葉長根後，接種 10 spores/cm^2供試白粉病菌，置於 24/20℃ (日/夜溫) 光照 12 hrs之定溫箱中，以不接種之各瓜類盒栽離葉為對照，12 days 後觀察葉片活力，並記錄發病面積率 (%)，試驗重複進行一次。

結　果

溫度對盒栽甜瓜離葉根系發育之影響

甜瓜 (金輝品種) 離葉栽培過程中，以 28、32℃栽培之葉片活力最旺盛，根系也最茂盛，而 10 days 後，所有栽培之葉片面積未見明顯增加。表 1 顯示，栽培第 6 day 於 28 及 32℃之處理才見離葉長根，第 8 day 則 24、36℃處理開始長出根，以 28℃根系生長最佳；10 days 以後，16℃以下處理之離葉未長根即黃化，36℃處理雖長根但葉片易褐化腐爛，20、24、28、32 及 36±處理之根數約為 4～6 條，而根生長情形以 28 與 32℃最佳，爾後將甜瓜離葉以 28～32℃栽培 6～10 days 做為接種之材料 (圖 1A) 。

表 1. 溫度對甜瓜離葉盒栽根系發育之影響
Talbe 1. The effect of temperature on roots growing from petioles of cultured melon detached leaves.

Temp (℃)	Time for growing root (days)	Root number [y]	Total root length (cm)
8	0	0 c [z]	0 d
12	0	0 c	0 d
16	0	0 c	0 d
20	10	4.2 b	22.0 c
24	8	5.4 a	28.0 c
28	6	5.8 a	46.0 a
32	6	5.0 ab	38.5 b
36	8	4.8 ab	20.1 c

[y] Data were recorded 10 days after incubation
[z] Means with the same letter within each column are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test.

接種源濃度對香瓜離葉白粉病之影響

接種後於 24℃ / 20℃ (Day / night) 光照 12 hrs之生長箱中培養，發病度隨著接種源濃度及時間增加而增加，圖 2 顯示接種後第 2 day無法以肉眼看到病斑，第 4 day於高濃度病原之處理 (30 及 100 spore/cm^2) 出現明顯白粉病斑，第 6 day後所有處理出現明顯白色病斑並產孢，第 12 day後離葉接種 3、5、10、30 或 100 spore/cm^{2}之發病面積率分別爲 30、52.5、62.5、90 及 93.75%，第 14 day後 30 及 100 spore/cm^{2}之處理發病面積率爲 100%。由兩次的試驗結果，10 spore/cm^{2}於 24/20℃接種 12 days後之發病面積率約 60%，爲往後之接種試驗標準 (圖 1B)。

利用盒栽離葉接種法測試溫度對甜瓜白粉病之影響

圖 3 顯示，20、24℃爲白粉病發病適溫，接種後 12 days 能造成及 64～70%之發病面積，16 及 28℃次之 (24～29%之發病面積)，12℃處理之發病面積僅 3%，8℃與 32℃以上接種 21 days 仍未見病斑；但在 12℃環境下，接種 18 days 後仍能造成金輝甜瓜之離葉發病面積率達 50%以上。

甜瓜各位葉離葉接種白粉菌之結果

苗齡 5 wks 之各位葉離葉於接種白粉病菌，於 24/18℃光照 12 hrs 之定溫箱 12 days 後，第 1 及 2 位葉明顯黃化甚至褐化，無法記量白粉病害，而第 3 至第 9 位葉分別出現 53.8、57.5、52.5、60.0、65.0、61.3、55.0%的發病面積率，經統計分析無差異，但第 3 位葉輕微黃化，不適用於爾後試驗，故爾後試驗以葉齡較年輕的第 4 至 9 位葉適合離葉栽培。

利用離葉盒栽接種法測定不同瓜類對甜瓜白粉病菌之反應

所測試的瓜類盒栽離葉中，甜瓜 (金輝或秋蜜品種)、胡瓜 (彩綠 2 號品種)、越瓜 (銀華品種)、南瓜 (仙姑品種) 發病面積率 62.5～72.5%且無顯著差異 (p=0.05)；蒲瓜 (春鶯) 發病面積率爲 42.5%，明顯較其他瓜類低 (p=0.05)，除了彩綠 2 號胡瓜葉片雖有白粉病病斑但仍維持翠綠，其於瓜類則出現程度不一的黃化現象。

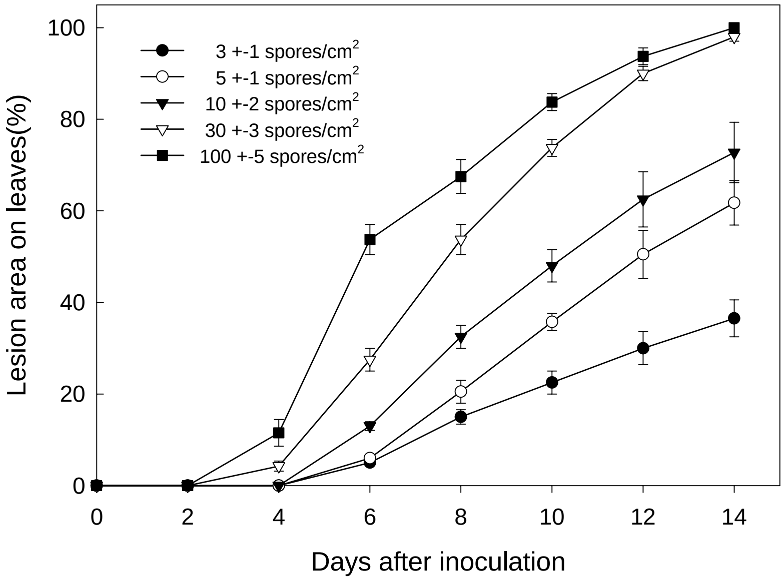

圖 2、以盒栽離葉測試接種源濃度與甜瓜 (金輝) 白粉病病勢進展的關係。接種條件爲 24/20℃ (日夜溫) ，光照 12 hrs。

Fig. 2.Effect of inoculum density of *Podosphaera xanthii* on development of powdery mildew on cultured leaves of Orient-sweet Golden Light melon (24/20℃, day/night).

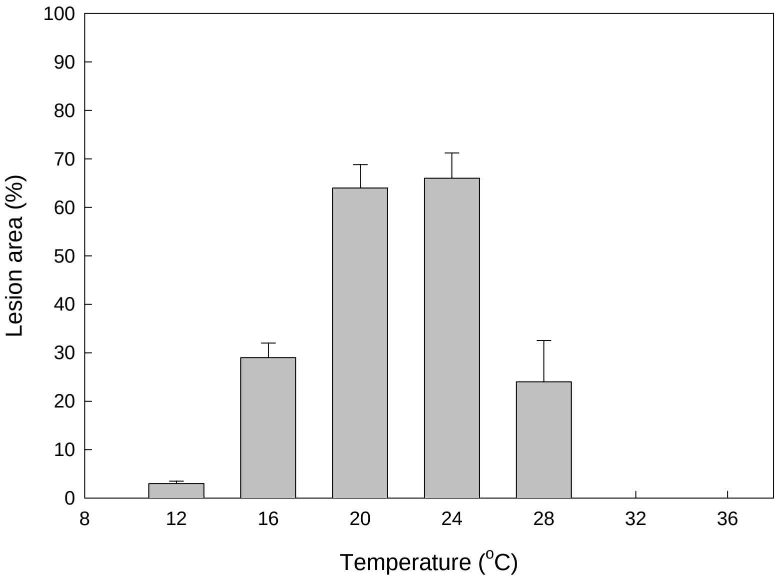

圖 3、溫度對盒栽甜瓜離葉接種白粉病菌之影響 (接種後 12 天記錄) 。

Table 3.The effect of temperature on the lesion development of powdery mildew of melon (Golden Light) cultured leaves inoculated with 10 spores/cm^2 *Podosphaera xanthii* for 12 days.

討　論

利用盒栽離葉接種法來測定甜瓜白粉病病勢進展有數項優點，(1) 比田間栽種或溫室盆栽自然感染或人爲接種較節省空間及材料，(2) 可控制接種源的濃度及接種環境，(3) 葉面積不再生長擴大，使接種的結果重現性高，(4) 且接種不同的病原菌時，密閉盒栽葉片上的病原菌亦不易相互污染。若與葉圓盤接種法比較 (Huang *et al*. 2002)，盒栽離葉接種無葉片傷口，較不易感染其他微生物，當處理其他資材如植物萃取液或化學物質時 (Hsieh *et al*. 2005)，不易受到雜菌的干擾，且葉片可持續生命力達至少 2 mon。本試驗以金輝品種爲範例，探討整個盒栽甜瓜離葉接種模式爲：取甜瓜植株上半部展開葉之葉圓盤，以 10 spores/cm^{2}之濃度接種，置於 24℃／20℃ (Day / night) 光照 12 hrs之定溫箱中 12 days後記錄發病度，十餘次的試驗結果顯示發病面積率可維持於 50-70%。

由單孢分離培養白粉病菌的証據顯示，只要 1 個白粉病菌的分生孢子就有機會形成 1 個病斑 (Cohen & 1986；Epinet *et al*. 1993；Huang *et al*. 2002；Nicot *et al*. 2002)，然而在本研究的結果顯示，雖然接種濃度爲 10 spores/cm^2，每平方公分僅約有 2.6 個病斑 (資料未顯示)，主要的原因是所接種的分生孢子發芽率僅約 50%，且並非每一個發芽的孢子皆能正常長出菌絲並形成病斑 (個人觀察資料)，故以葉圓盤人工培養的分生孢子活力是影響接種結果的因子之一。多數學者認爲孢子活力與孢齡有關，故常利用同一時期的分生孢子做爲接種源，如利用 24 hrs期間內再產生之分生孢子來接種 (Cohen *et al*. 1990；Lumbroso *et al*. 1982)，亦有學者認爲只要在控制的條件及材料所培養一定時間的白粉病菌分生孢子即有穩定的孢子活力 (Nicot *et al*. 2002)，如使用子葉培養 10-14 days的瓜類白粉病菌分生孢子 (Bertrand 1991) 。本研究使用於 16℃℃培養 12～16 days或 20℃培養 10～14 days葉圓盤上的分生孢子做爲接種源，其孢子於塗有醋酸纖維玻片 (Tsay & Tung 1994) 之發芽率爲 50-65% (資料未顯示)，具有穩定的活力，而由於以吹落孢子的方式接種，僅能於接種後檢視接種量 (Epinet *et al*. 1993；Reeser *et al*. 1983)，故每次接種量均稍有誤差，不過熟練的接種技術可降低接種濃度的誤差。

除了接種源濃度影響甜瓜白粉病病勢的進展之外，其它重要的因子就是溫度與時間，甜瓜白粉病通常於 24℃以下的溫度進展快 (圖 3) ，一般在接種 10-14 days後記錄病害 (Cohen 1993；Cohen & Cohen 1986；Epinet *et al*. 1993；Nicot *et al*. 2002)。本研究中在 24/20℃的接種溫度下，病徵出現相隔 2 days後的發病面積有時可增加一倍之多 (圖 2)，而較高濃度的接種源處理 (30 及 100 spore/cm^2) 在接種後病斑常融合而無法以肉眼分辨 (圖 1)，故不適合以病斑數記量病害，以發病面積較適合，且於接種後 10-12 days爲較適記錄病害時期 (圖 2)。

許多學者於田間觀察瓜類作物新葉 (上位葉) 的白粉病較老葉 (上位葉) 輕微，可能的原因有微氣候的差異、抗感病性的差異等 (Nicot *et al*. 2002；Sitterly 1978；Zitter *et al*. 1996)。本研究中將不同位葉的離葉以相同的條件接種白粉病菌，另亦以盆栽全株接種 (未顯示之資料)，但並未見已展開的老葉或新葉的發病度有差異，故筆者推測在田間瓜類作物新葉的白粉病發病度較低的原因，除了植被微氣候之外，也可能是新展開葉遭受病原菌感染的量較少與時間較短，且新葉葉面積會持續增大，故發病度較老葉低。因此本研究顯示，利用盒栽離葉不僅可測試甜瓜白粉病，對於其他病害甚至其他瓜類作物或葉柄易長根之作物，應可模擬修正本模式進行接種試驗，並期能藉此應用到其他目的，如抗感病品種之檢測、病害發生之環境因子，或檢測防治資材如拮抗微生物或天然資材之防治效果 (Hsieh *et al*. 2005) 。

引用文獻 (Literature cited)

Aust, H. J. 1986. Microclimate in relation to epidemics of powdery mildew. Annu. Rev. Phytopathol. 24:491-510.

Bardin, M., P. C. Nicot, P. Normand, and J. M. Lemaire. 1997. Virulence variation and DNA polymorphism in *Sphaerotheca fuliginea*, causal agent of powdery mildew of cucurbits. Eur. J. Plant Pathol. 103:545-554.

Bertrand, F. 1991. Les Oidiums des Cucurbitacees: Maintien en culture pure, etude de leur variabilite et de la sensibilite chez le melon. Ph. D. thesis. University of Paris XI. Rrsay, France. 259 pp.

Bohn, G. W. and T. W. Whitaker. 1964. Genetics of resistance to powdery mildew race 2 in muskmelon. Phytopathology 54: 587-591.

Braun, U. and S. Takamatsu. 2000. Phylogeny of *Erysiphe*, *Microsphaera*, *Uncinula* (Erysipheae) and *Cystotheca*, *Podosphaera*, *Sphaerotheca* (Cystotheceae) inferred from rDNA ITS sequences – some taxonomic consequences. Schlechtendalia 4: 1-33.

Cohen, R. 1993. A leaf disk assay for detection of resistance of melons to *Sphaerotheca fuliginea* race 1. Plant Dis. 77:513-517

Cohen, S. and Y. Cohen. 1986. Genetics and nature of resistance to race 2 of *Sphaerotheca fuliginea* in *Cucumis melo* PI 124111. Phytopathology 76:1165-1167.

Cohen, Y., H., Eyal, and J. Hanania, 1990. Ultrastructure, autofluorescence, callose deposition and lignification in susceptible and resistant muskmelon leaves infected with the powdery mildew fungus *Sphaerotheca fuliginea*. Physiol. Mol. Plant Pathol. 36: 191-204.

Epinet, C., M. Pitrat, and F. Bertrand. 1993. Genetic analysis of resistance of five melon lines to powdery mildew. Euphytica 65:135-144.

Hsieh, T. F., J. H., Huang, and L. J. Hsieh, 2005. Control of powdery mildew with potassium bicarbonate and polyelectrolyte. Plant Pathol. Bull. 14: 125-132.

Huang, J. H., Y. H., Wang, and C. T. Lo, 2002. Development of leaf-disk method for screening melon varieties resistant to *Sphaerotheca fuliginea* race 1. J. of Agricultural Research of China 51: 49-56. (in Chinese with English abstract)

Huang, S. H. 1991. Studies on the etiology, ecology, and control of Pythium root rot of hydroponic vegetables. Master thesis of National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC. 66 pp. (in Chinese with English abstract)

Kaur, J. and J. S. Jhooty. 1986. Presence of race 3 of *Sphaerotheca fuliginea* on muskmelon in Punjab. Indian Phytopathol. 39:297-299.

Lumbroso, E., G. Fischbeck, and I. Wahl. 1982. Infection of barley with conidia suspensions of *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*. Phytopathol. Z. 104: 222-223.

Menzies, J. G.., D. L. Ehret, A. D. M. Glass, T. Helmer, C. Koch, and F. Seywerd. 1991. Effect of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. Phytopathology 81: 84-88.

Mohamed, Y. F., M. Bardin, P. C. Nicot, and M. Pitrat. 1995. Causal agents of powdery mildew of cucurbit in Sudan. Plant Dis. 79:634 –636.

Moseman, J. G., R. C. F. Macer, and L. W. Greeley. 1965. Genetic studies with cultures of *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* virulent on *Hordeum spontaneum*. Trans. Br. Mycol. Soc. 48: 479-489.

Nicot, P. C, M. Bardin, and A. J. Dik. 2002. Basic Methods for Epidemiological Studies of Powdery Mildews: culture and Preservation of Isolations, Production and Delivery of Inoculum, and Diseaese Assessment. p.83-99, *in*: The Powdery Mildews- A Comprehensive Treatise. (Belanger, R. R., R. B. William, J. D. Aleid, and L. W. C. Timothy eds.) APS Press.

Reeser, P. W., D. J. Hagedorn, and D. I. Rouse. 1983. Quantitative inoculations with *Erysiphe pisi* to assess variation of infection efficiency on peas. Phytopathology 73: 1238-1240.

Shishkoff, N. 2000. The name of the cucurbit powdery mildew: *Podosphaera* (sect. Sphaerotheca) *xanthii* (Castag.) U. Braun & N. Shish. comb. nov.. Phytopathology 90: S133. (Abstract.)

Sitterly, W. R. 1978. Powdery mildew of cucurbits. p.359-377. *In* : The Powdery Mildews (Spencer, D. M. ed). Academic Press, New York.

Sivapalan, A. 1993. Effects of water on germination of powdery mildew conidia. Mycol. Res. 97:71-76.

Tsai, W. H. 1987. Inoculation of downy mildew on cucurbits under laboratory conditions. J. of Agric. Res. of China 36: 311-316. (in Chinese with English abstract)

Tsay, J. G., and B. K. Tung. 1994. Powdery mildew of cucurbit crops. p.135-146. *in*: Proceeding of symposium on techniques of cucurbits protection, Plant Protection Society of the Republic of China Press, Taichung, Taiwan, ROC. (in Chinese with English abstract)

Zitter, T. A., D. L.Hopkins and C. E. Thomas. 1996. Compendium of Cucurbit Disease. APS. USA. 87 pp.

Ziv, O. and T. A. Zitter. 1992. Effects of bicarbonates and filmforming polymers on cucurbit foliar diseases. Plant Dis. 75: 513-517.

Disease Assessment of Powdery Mildew on Melon with Cultured Leaf Method [1]

Jin-Hsing Huang [2, 5], Chaur-Tsuen Lo[3] and Ting-Fang Hsieh [4]

Abstract

Huang, J. H., C. T. Lo, and T. F. Hsieh. 2006. Disease Assessment of Powdery Mildew on Melon with Cultured Leaf Method. J. Taiwan Agric. Res. 55: 91-100.

A cultured leaf method was developed for disease assessment of melon powdery mildew caused by *Podosphaera xanthii* in this study. The detached leaves of melon (Orient sweet- Golden Light) with petiole were cultured in the transparent plastic boxes which contained nutrient solution. After incubation for 6 to 10 days, the growth of roots and vigor of leaves were better at 28-32℃ in comparison with other temperatures. When leaves were inoculated with different concentrations of conidia of *P. xanthii*, and then incubated at 24℃/20℃ (day/night) with a 12 hr photoperiod, percentage of lesion area increased with increasing inoculum density and incubation time. The lesion area reached 90% after 12 days at the inoculum density of 30 or 100 spores/cm^2. However, the lesion area was about 60% at 10 spores/cm^2 after the same period of time. With this inoculation method, powdery mildews grew well at 20-24℃, but failed to grow at 8℃ or 32℃. The disease development on cultured leaves of different ages was similar, but the lower leaves usually turned yellow during the inoculation period. The cultured leaf method was applicable to other cucurbit plants. With the inoculum density of 10 spores/cm^2 at 24/20℃ for 12 days, the lesion area of bottle gourd (Trendy) was 42.5%, lower than those (62.5-72.5%) of melon (Golden Light, Autumn Sweet), cucumber (Chailue No.2), pickling melon (Silver Charm) or squash (Fairy).

Key words: Melon, Powdery mildew, *Podosphaera xanthii*, Cultured leaf method.

---

1. Contribution No.2255 from Agricultural Research Institute, Council of Agriculture. Accepted: April 12, 2006.
2. Assistant Researcher, Plant Pathology Division, ARI, Wufeng, Taichung, Taiwan.
3. Associate professor, Department of Biotechnology, National Formosa University, Huwei, Yunlin, Taiwan.
4. Researcher, Floriculture Research Center, ARI, Kukeng, Yunlin, Taiwan.
5. Corresponding author, e-mail: jhhuang@wufeng.tari.gov.tw；Fax: (04)23338162.

台灣農業研究(J. Taiwan Agric. Res.) 55(2):101~110(2006)

賜諾殺濃餌劑防治柑桔園東方果實蠅（雙翅目：果實蠅科）之效果評估 [1]

何坤耀 [2,4]　洪士程 [2]　陳健忠 [3]　程永雄 [2]

摘　　要

何坤耀、洪士程、陳健忠、程永雄。2006。賜諾殺濃餌劑防治柑桔園東方果實蠅（雙翅目：果實蠅科）之效果評估。台灣農業研究 55:101-110。

東方果實蠅 [*Bactrocera dorsalis* (Hendel)] 素為柑桔之重要害蟲。在彰化溪州柑桔園以 0.02%賜諾殺濃餌劑進行誘殺試驗，結果顯示加施賜諾殺餌劑處理比單獨使用香蕉果實網袋包處理所誘之雌、雄蟲數顯著為少，前者雌、雄蟲數分別誘得 0.5 及 0.3 隻，後者則為 3.6 及 1.6 隻。由果實網袋包所誘得之蟲數變化可知試驗期間一直有少數東方果實蠅侵入，平均每週每包有 3.6 隻雌蟲。又由渦旋式誘蠅器（內置甲基丁香油誘殺板）所誘得之雄蟲顯示，侵入園區之東方果實蠅蟲源亦陸續被賜諾殺所誘殺。因本試驗自柑桔果實 6~7 分熟時值東方果實蠅為害初期即開始進行誘殺，致使整體試區（含 CK）果實被害率僅 0.02~0.05%，效果非常優異，顯示少數侵入之雌蟲在未產卵為害之前已快速被誘殺。另調查成熟之柑桔落果，平均蟲害率加病害率（東方果實蠅幼蟲直接為害加產卵孔引發之病害）僅為 3.5%，較往年記錄之 30~50%被害率亦大幅降低。

關鍵詞：賜諾殺餌劑、柑桔、誘殺、東方果實蠅。

前　　言

東方果實蠅 [*Bactrocera dorsalis* (Hendel)] 多年來對台灣蔬果造成相當嚴重的為害，其中包括柑桔、芒果、番石榴等 30 多種重要經濟果樹 (Liu & Hwang 2000；Ho 2003)。由於大量使用農藥所引起的害蟲抗藥性及殘留毒問題引起社會普遍的關注，因此誘引劑之研究與應用已成為東方果實蠅綜合管理之重要策略之一 (Chu *et al*. 1996；Ho *et al*. 2004)。

早在 1950 年代夏威夷即有噴佈蛋白質水解物毒餌能有效誘殺東方果實蠅之報導 (Steiner 1952；Gow 1954)，近年在台灣亦大量使用甲基丁香油誘殺雄蟲及含毒蛋白質水解物、糖蜜、苯甲酸乙酯等誘殺雌蟲之策略 (Chu *et al*. 1996；Liu & Hwang 2000；Chen *et al*. 2001)。然受限於滅雄法必須進行區域性防治才能發揮效果，而蛋白質水解物添加之農藥會對果實蠅造成忌食作用，且其有效誘殺範圍窄，持效性僅約一週之缺失，當蟲源多而不斷侵入時其防治效果不彰 (Vickers 1997)。

---

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2256 號。接受日期：95 年 4 月 20 日。
2. 本所嘉義分所植物保護系副研究員、助理研究員及研究員兼分所長。臺灣 嘉義市。
3. 本所應用動物組研究員。臺灣 臺中縣 霧峰鄉。
4. 通訊作者，電子郵件：kunyawho@dns.caes.gov.tw；傳真機：(05)2773630。

使用 0.02%賜諾殺濃餌劑可能因其成分中較無一般農藥會造成的忌食現象，而其糖、蛋白添加物又能有效誘引雌蟲取食，在番石榴園施用結果對東方果實蠅有非常優異的誘殺效果 (Ho *et al*. 2005)。本試驗進一步在柑桔園中進行誘殺效果測試，並以 Ho (2003) 推薦的果實網袋包及渦旋式誘蠅器兩種誘殺工具所得之果實蠅數作爲評估依據。

材料與方法

試區處理及誘殺蟲數調查

在彰化縣溪州鄉面積約 1 ha 的獨立柑桔園（帝王柑），選定分隔開的南方長條區共 180 株（3 行 × 60 株）進行誘殺試驗。以最前端的 18 株（3 行 × 6 株）作爲無誘殺對照區，其次各以連接的 54 株（3 行 × 18 株）作爲一處理，每區再分爲三重複小區，依次爲果實網袋包（32 目尼龍紗網內約含 200 g 成熟香蕉果實，外罩 22 × 22 cm 黃色粘蟲紙）、賜諾殺餌劑（GF-120，0.02% Spinosyn A&D 混合體，台灣道禮股份有限公司提供）及網袋包＋賜諾殺等 3 種誘殺試區。其中果實網袋包處理乃在中間行每間隔 2 株掛一包，每小區內共掛 6 包。而賜諾殺餌劑則先以水稀釋 8 倍，以手提式噴霧器 (2 L) 在每一株上噴 4 大點，每大點約 5 mL。從 2005 年 9 月 28 日果實近成熟時開始，至 2006 年 1 月 11 日採收完爲止，每週更新果實網袋包及噴佈賜諾殺餌劑一次，共進行 15 wks。另在各處理區均懸掛渦旋式誘蠅器一只（內置不含毒甲基丁香油誘殺板），而北鄰剩餘約 120 株亦請果農自行如此噴佈賜諾殺餌劑。試驗期間，每週調查記錄各果實網袋包粘紙上及渦旋式誘蠅器內誘殺之東方果實蠅雌、雄蟲數。

外圍蟲源調查

爲瞭解試驗期間之蟲源發生分布，自第 5 週後於柑桔園外圍（距離約 200 m）選定東、西、南、北各一處小雜木林當作誘殺站，約於離地 1.5 m 高處懸掛碳酸銨（約 2 g 裝於開口式指形瓶內，以鐵絲綁住穿附於 22 × 22 cm 之黃色粘蟲紙上）及香蕉果實網袋包（如前），兩者距離約 3 m，每週調查其粘紙上所誘殺之雌、雄蟲數。

樹上果被害率調查

每週於前述柑桔試區（含無誘殺對照）三重複各隨機調查 100 個樹上柑桔果實，現場檢查果實上面是否有被東方果實蠅產卵爲害，若有則記錄其產卵孔數，以計算其被害率 (% = 被害果實數 ÷ 100 × 100)，自開始誘殺前（第 0 週）調查至第 15 週。

落果罹病蟲率調查

自第 11 週開始，每週逢機選取試區內之 40 個地上柑桔落果，攜回試驗室內（避免再度被產卵爲害）放置 4 days 後，檢查果實是否先前有被東方果實蠅爲害。若曾被產卵爲害，則此時果實之產卵孔內方必已有幼蟲孵化蛀食，稱之爲蟲害果。若有產卵孔而引起病原菌感染導致腐爛或褐變之果實，則稱爲病害果，分別記錄蟲害果與病害果之個數。

統計分析

先將蟲數以 $\sqrt{x+0.1}$ 轉換，被害率以 $\sin^{-1}$ 轉角，再以鄧肯氏多變域分析法比較各處理平均值 5% 顯著水準下之差異顯著性 (Ho *et al*. 2005)。

結　　果

誘殺蟲數

香蕉果實網袋包加賜諾殺餌劑處理區與單獨使用果實網袋包誘殺之處理區中，各週在網袋包上之誘殺蟲數整理如表 1。試驗結果顯示在試區內幾乎各週皆能誘得少數成蟲，其中果實網袋包加賜諾殺餌劑處理區，平均誘得之雌蟲數約僅爲單獨使用果實網袋包試區者之 7 分之 1 (0.5：3.6)，雄蟲數亦僅約爲 5 分之 1 (0.3：1.6)，兩者在統計上皆有顯著差異(P = 0.05)。

另由全部 4 試區內之渦旋式誘蠅器上所誘得蟲數（表 2），顯示甲基丁香油僅在第 1 週及第 6 週分別誘到 2 及 1 隻雌蟲，而在各區所誘得之雄蟲亦顯著地逐漸降低，在最後幾週所誘得之雄蟲數已非常少。其平均誘得之雄蟲數顯示，連在區域內之無誘殺處理區亦多未有顯著差異。

外圍蟲源

從果園外東、西、南、北四個方位之誘殺站果實網袋包上所誘得之蟲數（表 3），顯示在第 6 週開始時誘得最多，第 7 週其次，合計兩週誘得 22 隻雌蟲及 49 隻雄蟲，約佔全期 10 週誘得總量之 96%，其中以在西方誘得之雄蟲數明顯較多。與碳酸銨誘殺組粘紙上所誘得之雌、雄數比較，以果實網袋包之誘殺效果較佳，前後者之平均雌蟲總數分別爲 0.6 及 2.3。

被害果率

每週於各處理區調查柑桔樹上 100 個近成熟果實之被害果率，整理如表 4。顯示處理前果實被害率爲 0~0.3%，而處理後除在第 3、4、10 週之賜諾殺誘餌加網袋包處理、賜諾殺誘餌處理及對照區分別出現 0.3、0.7 及 0.3 之被害果率外其餘均無果實被害，各區全期 15 週之平均被害果率僅爲 0~0.05%。各處理間皆未有顯著差異 (P = 0.05)，且在此等少數之被害果上亦都發現只有 1 個產卵孔，被害度極低。

落果病蟲害率

在最後 5 週（12 月 7 日~1 月 11 日）所調查之落果被害率（表 5）發現，整體試區之病蟲害果率皆甚低，平均由雌蟲產卵孔所造成之蟲害果（都發現僅有 1 處產卵孔）加上因由產卵孔感染而腐爛褐變之病害果僅爲 3.5%，其中以病害果占 85.7% (3.0 / 3.5)，顯著較多 (P = 0.05)。

討　　論

本試驗柑桔園相當獨立，四周多爲蔬菜園，在附近並未發現有其他東方果實蠅之寄主果樹。於試驗期間試區內仍能持續誘到雌、雄成蟲（表 1），顯示在此季節雖然田間之東方果實蠅族群已不高 (Huang 1997)，但還是陸續有外來懷卵的蟲源侵入柑桔園內。從賜諾殺餌劑加果實網袋包及單獨使用果實網袋包兩試區所誘殺之雌、雄蟲比例來看，增加賜諾殺餌劑後之誘殺效果確實非常顯著，蟲數降低 5~7 倍。

又由表 2 渦旋式誘蠅器所誘得之雄蟲數亦能顯示，施用賜諾殺餌劑後蟲數顯著降低，連相鄰的無誘殺小區之蟲數亦逐漸被誘掉。另賜諾殺單獨誘殺區位於較中間地帶，所誘得之雄蟲略少，可能係因北鄰之賜諾殺整體誘殺區誘殺後能到達中間之蟲源已相對減少。

表 1. 在柑桔園以果實網袋包或網袋包加賜諾殺餌劑誘殺東方果實蠅之效果評估

Table 1. Evaluation of the attracting effectiveness of the Oriental fruit fly with the use of fruit net-bag alone or with Spinosad bait in a citrus orchard

Time of investigation [z]	Sex	No. flies captured (Mean±SD, n=6)	
		Spinosad bait + Fruit net-bag	Fruit net-bag only
Week 1	♀	0.2 ± 0.4	0.5 ± 0.5
	♂	1.5 ± 2.3	0.8 ± 1.2
Week 2	♀	1.7 ± 1.9	5.0 ± 2.3
	♂	0.3 ± 0.5	1.7 ± 1.4
Week 3	♀	1.0 ± 1.5	5.3 ± 2.3
	♂	0.5 ± 0.5	2.2 ± 1.6
Week 4	♀	0.3 ± 0.5	4.8 ± 1.5
	♂	0.0 ± 0.0	1.5 ± 1.2
Week 5	♀	0.7 ± 1.2	5.5 ± 4.4
	♂	0.2 ± 0.4	2.0 ± 2.3
Week 6	♀	0.7 ± 0.8	8.2 ± 3.1
	♂	1.0 ± 0.6	3.7 ± 1.0
Week 7	♀	1.8 ± 0.8	6.2 ± 2.9
	♂	0.8 ± 1.0	4.2 ± 1.5
Week 8	♀	0.0 ± 0.0	3.5 ± 3.9
	♂	0.2 ± 0.4	2.2 ± 1.7
Week 9	♀	0.2 ± 0.4	1.8 ± 1.2
	♂	0.3 ± 0.5	0.8 ± 1.2
Week 10	♀	0.3 ± 0.8	2.3 ± 2.1
	♂	0.0 ± 0.0	1.8 ± 2.1
Week 11	♀	0.0 ± 0.0	1.3 ± 1.4
	♂	0.0 ± 0.0	1.0 ± 1.3
Week 12	♀	0.2 ± 0.4	1.3 ± 2.8
	♂	0.2 ± 0.4	0.2 ± 0.4
Week 13	♀	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	♂	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Week 14	♀	0.8 ± 0.8	6.0 ± 4.0
	♂	0.0 ± 0.0	2.2 ± 1.7
Week 15	♀	0.0 ± 0.0	1.8 ± 1.6
	♂	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.5
Average [y]	♀	0.5b	3.6a
	♂	0.3B	1.6A

[z] Oct. 2005-Jan. 2006.

[y] Means in a row followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

表 2. 以渦旋式誘蠅器評估誘殺效果

Table 2. Evaluation of the attracting effectiveness by using Victor fly trap

Time of investigation [z]	Sex	No. flies collected in each plot			
		Spinosad + Net-bag	Spinosad	Net-bag	Without bait (CK)
Week 1	♀	0	0	0	2
	♂	221	107	197	142
Week 2	♀	0	0	0	0
	♂	43	23	44	54
Week 3	♀	0	0	0	0
	♂	9	9	29	10
Week 4	♀	0	0	0	0
	♂	17	17	28	14
Week 5	♀	0	0	0	0
	♂	16	7	19	19
Week 6	♀	1	0	0	0
	♂	69	41	36	62
Week 7	♀	0	0	0	0
	♂	18	18	41	29
Week 8	♀	0	0	0	0
	♂	1	1	5	5
Week 9	♀	0	0	0	0
	♂	7	16	18	3
Week 10	♀	0	0	0	0
	♂	2	1	5	4
Week 11	♀	0	0	0	0
	♂	1	0	5	1
Week 12	♀	0	0	0	0
	♂	0	1	1	2
Week 13	♀	0	0	0	0
	♂	0	0	1	0
Week 14	♀	0	0	0	0
	♂	6	0	1	0
Week 15	♀	0	0	0	0
	♂	0	0	0	6
Average [y]	♀	0.1a	0a	0a	0.1a
	♂	27.3A	16.1B	28.7A	23.4A

[z] Oct. 2005-Jan. 2006.

[y] Means in a row followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

表 3. 柑桔誘殺區外圍東方果實蠅蟲源發生調查
Table 3. The Oriental fruit flies captured in the surrounding areas of the experimental citrus orchard

Time of investigation [z]	Sex	No. flies captured by ammonia carbonate + yellow sticky board				No. flies captured by fruit net-bag			
		East	West	South	North	East	West	South	North
Week 6	♀	0	0	2	0	6	10	2	1
	♂	0	1	1	1	1	26	0	4
Week 7	♀	1	0	1	0	0	2	0	1
	♂	0	0	0	0	1	16	1	0
Week 8	♀	0	0	0	0	0	0	0	0
	♂	0	0	0	0	0	0	1	0
Week 9	♀	0	0	2	0	0	0	0	1
	♂	0	0	0	0	0	0	0	0
Week 10	♀	0	0	0	0	0	0	0	0
	♂	0	0	0	0	0	0	0	0
Week 11	♀	0	0	0	0	0	0	0	0
	♂	0	0	0	0	0	0	0	1
Week 12	♀	0	0	0	0	0	0	0	0
	♂	0	0	0	0	0	0	0	0
Week 13	♀	0	0	0	0	0	0	0	0
	♂	0	0	0	0	0	0	0	0
Week 14	♀	0	0	0	0	0	0	0	0
	♂	0	0	0	0	0	0	0	0
Week 15	♀	0	0	0	0	0	0	0	0
	♂	0	0	0	0	0	0	0	0
Average [y]	♀	0.1 ab	0 b	0.5 a	0 b	0.6 a	1.2 a	0.2 a	0.3 a
	♂	0B	0.1 B	0.1 B	0.1B	0.2 B	4.2 A	0.2 B	0.5 B

[z] Nov. 2005-Jan. 2006.
[y] Means in a row followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

從試區外圍（因距 200 m 不會影響試區誘殺）果實網袋包誘得之蟲數（表 3）與同時期柑桔園內果實網袋包試區的誘殺量（表 1）比較，顯示在本試驗之中、後期東方果實蠅已較少遷移至果園附近之棲息處，在外圍棲息的少數蟲源被誘殺後蟲源數更低。果園中因爲有大量成熟之果實存在，果實散發出之氣味應可將外圍之零星蟲源誘入園中 (Jang 1997)。在西方外圍果實網袋包上所誘捕之蟲數最多，可能因該處之雜木較爲茂密，而成爲東方果實蠅較喜愛的棲息環境 (Huang 1997)。另在碳酸銨誘殺組所產生之氨氣雖亦能誘到少數雌、雄蟲 (Bateman & Morton 1981)，但效果僅約爲果實網袋包誘殺組的 4 分之 1，故果實網袋包應比碳酸銨更爲有效評估雌蟲誘殺效果之工具，此與 Ho (2003)所獲之結果相符合。

表 4. 柑桔各試區被害果率

Table 4. The percentage of damaged citrus fruit in different treatments

Time of investigation [z]	Fruit damage (%)			
	Spinosad＋Net-bag	Spinosad	Net-bag	Without bait (CK)
Week 0	0	0	0.3	0
Week 1	0	0	0	0
Week 2	0	0	0	0
Week 3	0.3	0	0	0
Week 4	0	0.7	0	0
Week 5	0	0	0	0
Week 6	0	0	0	0
Week 7	0	0	0	0
Week 8	0	0	0	0
Week 9	0	0	0	0
Week 10	0	0	0	0.3
Week 11	0	0	0	0
Week 12	0	0	0	0
Week 13	0	0	0	0
Week 14	0	0	0	0
Week 15	0	0	0	0
Average(wk1-15)[y]	0.02 a	0.05 a	0 a	0.02 a

[z] Sept. 2005-Jan. 2006.

[y] Means in the row followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

表 5. 試區內柑桔成熟落果被害果率

Table 5. The percentage of damage of the dropped ripe citrus fruit in tested area

Time of investigation [z]	Fruit damage (%)	
	Damaged by fly	Infested by disease
Week 11	0	5.0
Week 12	0	2.5
Week 13	2.5	5.0
Week 14	0	0
Week 15	0	2.5
Average [y]	0.5 b	3.0 a

[z] Dec. 2005-Jan. 2006.

[y] Means in the row followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

在果農之常年經驗中，防治良好的柑桔園至少還是會有 2~3%之果實被害率。一般情況下施藥防治，被害率應會維持在 5~20%之間。若是防治管理不善，則被害率可能高達 50~80%。在常年有東方果實蠅發生的溪州地區（根據農試所發布之旬報），絕不可能會出現如表 4 這般的 0~0.05%之極低被害率。本試驗乃在低蟲源密度期間，復經採用全園全期密集式（每株有 4 點）的誘殺法，在少數入侵的雌蟲或園中產生的雌蟲尚未產卵之前，即已被快速誘殺，而不致造成為害。利用此法在斗六之番石榴園，亦曾有效的誘殺東方果實蠅 (Ho *et al*. 2005)。

由整體試區內落果之被害率低於 5%（表 5）亦能間接顯示賜諾殺餌劑對東方果實蠅具有良好之誘殺效果。一般成熟掉落之果實累計之蟲害率本就比樹上果之蟲害率為高，而由產卵孔所造成傷口感染之病害果比率亦會更高。根據園主經驗談，概略估計前一年的樹上果病蟲害率（蟲害果加病害果）即高達 30~50%，落果之病蟲害率則更高。由本試驗可見，施用賜諾殺防治後確實可大大的降低柑桔遭受東方果實蠅為害。

試以果實網袋包平均每週每粘紙可捕獲 3.6 雌蟲（誘殺範圍為 9 株）估計，在全試區 1 ha（約 300 株柑桔）每週可誘殺 120 隻雌蟲，亦即全期 15 週總共可誘殺掉 1800 隻雌蟲。依 Ho *et al*. (2003) 估算，平均每雌可產 200~400 卵，為害 10~20 果以上（每果有 2~19 個產卵孔，每孔大多會有卵數粒至 10 多粒），如此 1 ha 全期減少被害之果實將可能達參萬個以上。每果若以 4~5 元計，最少將可避免損失十多萬元。就防治成本而言，全期施用 15 次，每次每公頃 1 L 餌劑，共約需餌劑一萬元，因其施用非常簡便快速，故可於果園管理時順便施行而不計算工資，如此本益比將達 10 多倍。若是改用一般農藥，亦以至少需施用 15 次估算，每次 1 ha 必需（含工資）一千多元，全期必超過兩萬元。然而據統計一般農藥防治僅能獲得 4~5 倍之本益比（亦即只可能減少十萬元內之損失），且又會有殘留毒等其他副作用。此餌劑內之 Spinosyn 屬於低殘毒之安全藥劑，且施用於葉片上，使用在連續採收如柑桔之作物上，應可降低果實上農藥殘毒之風險。

另外，東方果實蠅可能會作長距離或短距離性的遷移 (Iwahashi 1984)，而當大量外來蟲源侵入時有可能會影響餌劑的誘殺效果 (Vickers 1997)。因本試驗在進行時正處於族群密度較低之季節，由外圍侵入之蟲源並不多，且柑桔園又甚為獨立的情況下，使用此餌劑稀釋至 8 倍，每週施一次（每株噴 4 大點，每大點約 5 mL）即可獲得良好防治效果。

引用文獻 (Literature cited)

Bateman, M. A. and T. C. Morton. 1981. The importance of ammonia in proteinaceous attractants for fruit flies (Family: Tephritidae). Aust. J. Agric. Res. 32: 888-903.

Chen, C. C., Y. J. Dong, and L. L. Cheng. 2001. Evaluation of trapping effectiveness of the improved McPhail trap for Oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis*) (Diptera: Tephritidae). Formosan Entomol. 21: 65-75. (in Chinese with English abstract)

Chu, Y. I., J. L. Li, C. H. Tung, S. H. Lin, and S. P. Chen. 1996. Attractive efficacy of three attractants for the Oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae). Plant Prot. Bull. 38: 59-65. (in Chinese with English abstract)

Gow, P. L. 1954. Proteinaceous bait for Oriental fruit fly. J. Econ. Entomol. 47: 153-160.

Ho, K. Y. 2003. Evaluation of two new traps for the population management of the Oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel). Ph. D. Dissertation. National Taiwan University. 79 pp. (in Chinese with English abstract)

Ho, K. Y., S. C. Hung, and C. C. Chen. 2005. Effectiveness of Spinosad bait in the control of Oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) in guava orchard. J. Taiwan Agric. Res. 54: 162-168. (in Chinese with English abstract)

Ho, K. Y., S. C. Hung, H. J. Lee, T. C. Hsu, and Y. I. Chu. 2004. Attracting effectiveness of fruit net-bags and Victor fly traps for the Oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae), at a Touliu guava orchard. Formosan Entomol. 24: 65-72. (in Chinese with English abstract)

Huang, S. H. 1997. Factors affecting the methyl eugenol trapping of the Oriental fruit fly [*Bactrocera dorsalis* (Hendel)] in a guava orchard at Touliu. Master thesis, National Taiwan University. 117 pp. (in Chinese with English abstract)

Iwahashi, O. 1984. The control project of the Oriental fruit fly in Okinawa. Chinese J. Entomol. 4: 107-120. (in Chinese with English abstract)

Jang, E. B. 1997. Development of attractants for female fruit flies in Hawaii. p.115-116. *in*: Management of Fruit Flies in the Pacific (Allwood, A. J. and R. A. I. Drew, eds.) ACIAR (Australian Centre for International Agricultural Research) Proceedings No.76. Nadi, Fiji.

Liu, Y. C. and R. H. Hwang. 2000. The attractiveness of improved molasses attractant to *Bactrocera dorsalis* Hendel. Plant Prot. Bull. 42: 223-233. (in Chinese with English abstract)

Steiner, L. F. 1952. Fruit fly control in Hawaii with poison-bait sprays containing protein hydrolysates. J. Econ. Entomol. 45: 838-843.

Vickers, R. A. 1997. Progress in developing an alternative to protein hydrolysate bait sprays. p.117-120. *in*: Management of Fruit Flies in the Pacific (Allwood, A. J. and R. A. I. Drew, eds.) ACIAR (Australian Centre for International Agricultural Research) Proceedings No.76. Nadi, Fiji.

Effectiveness of Spinosad Bait in the Control of the OrientalFruit Fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel), (Diptera: Tephritidae) in Citrus Orchard[1]

Kun-Yaw Ho[2,4], Shi-Cheng Hung[2] , Chien-Chung Chen[3] and Yung-Hsiung Cheng[2]

Abstract

Ho, K. Y., S. C. Hung, C. C. Chen, and Y. H. Cheng. 2006. Effectiveness of Spinosad bait in the control of the Oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel), (Diptera: Tephritidae) in citrus orchard. J. Taiwan Agric. Res. 55:101-110.

The Oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel), is the major insect pest of citrus crops. This study was to evaluate the effectiveness of Spinosad bait for the control of the Oriental fruit fly. The number of flies captured by the yellow sticky trap with netted banana from the 0.02% Spinosad-treated plots was 0.5 / 0.3 (♀ / ♂) which was significantly lower than that of the control plots of 3.6 / 1.6 (♀ / ♂). Based on the fluctuation of the number of flies captured, it indicated that there were a few flies continually invading the orchard, averaging 3.6 females per week. Using the number of male flies captured by methyl eugenol traps as a reference, it further indicated that the invading flies were effectively attracted and gradually killed by Spinosad baits. This study showed that application of Spinosad baits at the early fruit ripening stage could kill the female flies before eggs were deposited, thereby, reduced the fruit damage rates as low as 0.02~0.05%. In addition, results from the investigation of the dropped fruits showed that the total damage rate from the fruit fly infestations was only 3.5% (including fruits damaged by diseases resulting from fruit fly ovipositions) which was much lower than the damage rates of 30~50% recorded in the past years.

Key words: Spinosad bait, Citrus, Attractant, *Bactrocera dorsalis*.

---

1. Contribution No.2256 from Agricultural Research Institute, Council of Agriculture. Accepted: April 20, 2006.
2. Respectively, Associate Entomologist, Assistant Entomologist of Plant Protection Department, and Director, Chiayi Agricultural Experiment Station, ARI, Chiayi, Taiwan, ROC.
3. Senior Entomologist, Applied Zoology Division, ARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
4. Corresponding author, e-mail: kunyawho@dns.caes.gov.tw ; Fax: (05)2773630.

台灣農業研究(J. Taiwan Agric. Res.) 55(2):111~120(2006)

基徵草蛉對設施甜椒害蟲之防治效果評估[1]

盧秋通[2, 3] 王清玲[2]

摘　要

盧秋通、王清玲。2006。基徵草蛉對設施甜椒害蟲之防治效果評估。台灣農業研究 55：111-120。

本文係應用基徵草蛉 (*Mallada basalis* (Walker)) 幼蟲釋放在簡易網室內進行甜椒害蟲防治效果評估，並調查植株上之害蟲種類，以作為生物防治之參考資訊。甜椒上之害蟲種類首次發現 *Phenacoccus* 屬之粉介殼蟲在該作物上為害。每株釋放草蛉幼蟲 3 隻，每 7 日釋放一次，結果顯示草蛉防治棉蚜等小型害蟲具有效果；釋放草蛉之植株生長情形良好，採收之果粒明顯較對照組為重，果粒長度及寬度亦比對照組為大，且果形亦佳。

關鍵詞：基徵草蛉、甜椒、生物防治。

前　言

番椒 (*Capsicum annuum* L.) 為一年或多年生蔬菜，屬茄科 (Solanaceae)，原產於中南美洲。番椒的果實依品種特性之不同有綠、紅、橙、黃、紫、褐等多種顏色；有鐘形、三角錐形、長角錐形、羊角形、圓形、橢圓形等多種果型。哥倫布在十五世紀傳入西班牙，後推廣至全歐洲，17 世紀才傳到中國。番椒可分為辣椒及甜椒，甜椒是由辣椒演化而來，經由長久的栽培選育出不具辣味者。2004 年本省栽培甜椒面積約 2800 ha，主要栽培產區包括屏東、南投、高雄、嘉義、雲林、台南及花蓮等地 (Ananymous 2004)。本次試驗栽種之銘星甜椒 (Min-Shin sweet pepper)，其特性為一代交配種，早生品種，為本省主要栽培品種之一，產量高，著果率高，果肉薄，果皮光滑，對煙草毒素病及馬鈴薯毒素病較具抗性 (Hung 1995)。

草蛉為有益之捕食性昆蟲，可以捕食小型害蟲包括蚜蟲、粉蝨、木蝨、薊馬、介殼蟲、斑潛蠅及葉蟎等，或鱗翅目及鞘翅目昆蟲之卵粒，以維持生存。在國內外有多項研究利用不同種類草蛉於各種作物之害蟲 (Harbaugh ＆ Mattson 1973；Hao 2002；Lee 1979；Lopez *et al*. 1976；Nee 1983；Ridgway ＆ Jones 1969；Shands *et al*. 1972a；Tulisalo ＆ Tuovinen 1975) 與害蟎 (Chang *et al*. 1997；Chang ＆ Huang 1995；Hao 2002；Wu 1992) 防治，本文用以評估防治效益之基徵草蛉為台灣本地種草蛉，分類地位屬脈翅目 (Neuroptera) 草蛉科 (Chrysopidae)，屬於完全變態昆蟲，幼蟲具有捕食能力，同種之間也有互相殘殺的特性。由於小型害蟲容易侵入網室設施內為害作物，造成損失，故利用人為飼養及釋放草蛉並配合栽培管理措施，藉以評估抑制網室設施內害蟲族群密度之效益。

---

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2257 號。接受日期：95 年 5 月 21 日。
2. 本所應動組助理研究員與研究員兼組長。臺灣 臺中縣 霧峰鄉。
3. 通訊作者，電子郵件：ctlu@wufeng.tari.gov.tw；傳真機：(04)23302804。

材料與方法

草蛉飼養

以人工微膠囊飼料集體飼育基徵草蛉，先於塑膠飼育盆 (L×W×H＝41×31×12 cm) 中放置適量之瓦楞紙卷 (L×W×H＝15×8.3×1.5 cm)，再將即將要孵化之基徵草蛉卵片撕成條狀放入塑膠飼育盆內，在盆上方四週邊緣以雙面膠黏貼並緊密覆蓋絹網，以防幼蟲逃離。在覆網之前，以勺匙取足量之人工微膠囊飼料均勻撒入塑膠飼育盆內，以供孵化後之幼蟲取食，以後每 3 日追加 1 次足量飼料，至開始化蛹爲止。飼養基徵草蛉幼蟲之人工微膠囊飼料係依 Lee (1994) 開發之技術方法製作而成。之後將紙孔中有化蛹之瓦楞紙卷置於羽化箱中，利用成蟲之向光性於箱頂收集之。取約 200-250 隻當日羽化之成蟲飼養於壓克力製之圓形產卵筒 (高 20 cm×直徑 14.3 cm) 內，產卵筒之一端邊緣掛有以蜂蜜與啤酒酵母粉等量混合之飼料片，及由含水脫脂棉及玻璃指形管作成的水杯，以供成蟲取食，並於產卵筒上方以絹網用橡皮筋套密，以防成蟲飛離；筒內並預先鋪一層白紙供成蟲產卵，每日置換新紙片，移出含卵之舊紙片備用。產卵筒另一端直接覆蓋底盤 (L×W×H＝27×20×2 cm)，內襯摺疊紙巾。

草蛉釋放

試驗區包括位於台中縣霧峰鄉本所的三棟簡易網室，每棟簡易網室 (L×W×H＝30.5×5.4×3.2 m) 外部以鍍管搭架及 50%遮光網覆蓋成形，網室內再以鍍管爲支架及 20 目之紗網覆蓋成 (L×W×H＝4.0×2.1×2.6 m)之小網室，每棟簡易網室置入二個小網室，種植銘星甜椒苗於圓形塑膠盆（高 28 cm×直徑（上端 23.5 cm, 下端 14 cm））內，每小網室 10 株（盆）。供試組別分爲釋放草蛉之試驗組及無防治之對照組，每小網室爲一重複，每組各重複三次，釋放時以小毛筆將草蛉第 2 齡初蛻皮幼蟲逐一挑至植株葉上，各小網室的株（盆）數量相同，各小網室內的植株之栽培管理方式完全相同。每株 3 隻，定期每 7 日（每週）釋放一次，直至採收完畢。

效果調查

91 年 3 月 20 日定植 7 日後開始釋放基徵草蛉幼蟲，至 6 月 19 日止，共釋放 13 次，每次草蛉釋放前每一植株逢機選取 5 片葉，調查所取葉片上之害蟲種類與數量；6 月 12 日至 6 月 24 日採收，甜椒果粒採收時每小網室每株逢機選取 2 粒，比較二種處理組果實之重量大小，亦比較果形之長度與寬度 (t-test, $p \leqq 0.05$)。

結　　果

害蟲發生種類

銘星甜椒害蟲種類與數量之調查，自 91 年 3 月至 6 月共進行 13 次，結果害蟲種類包括棉蚜、銀葉粉蝨、粉介殼蟲 (*Phenacoccus* sp.)、南黃薊馬、番茄斑潛蠅、斜紋夜蛾、二點葉蟎及茶細蟎（表 1），發生總數量以棉蚜最多，其次爲銀葉粉蝨。定植後最初 5 週以棉蚜、銀葉粉蝨、番茄斑潛蠅及蟎類先於設施內發生，其中以棉蚜發生最嚴重，爲主要害蟲，數量至 8 週發生最高，達到 243.6 隻/葉，在 9 週之發生數量也達到 235.2 隻/葉；銀葉粉蝨之數量至 6 週發生最高，僅達 1.2 隻/葉，在 8 週之發生數量下降爲 0.8 隻/葉。在栽種 6 週至 7 週又增加粉介殼蟲、南黃薊馬及斜紋夜蛾爲害植株，其中以粉介殼蟲發生較嚴重，至 8 週數量最高達 0.5 隻/葉，非上述期間之發生數量下降到 0.3

表 1. 甜椒害蟲種類之調查

Table 1. Survey of species of insect pests on sweet pepper in Taiwan

Species	Order: Family	Common name
Thrips palmi Karny	Thysanoptera: Thripidae	Southern yellow thrips
Aphis gossypii Glover	Homoptera: Eriosomatidae	Cotton aphid
Bemisia argentifolii Bellows & Perring	Homoptera: Aleyrodidae	Silverleaf whitefly
Phenacoccus sp.	Homoptera: Pseudococcidae	Mealy bug
Spodoptera litura (Fabricius)	Lepidoptera: Noctuidae	Tobacco cutworm
Liriomyza bryoniae	Diptera: Agromyzidae	Leafminer fly
Tetranychus urticae (Koch)	Prostigmata: Tetranychidae	Two-spotted spider mite
Polyphagotarsonemus latus (Banks)	Prostigmata : Tarsonemidae	Broad mite

隻/葉以下。其餘南黃薊馬、番茄斑潛蠅、斜紋夜蛾及蟎類等在本試驗栽種之甜椒上發生數量少，對於植株並不構成爲害。

釋放草蛉之防治效果

釋放基徵草蛉第 2 齡幼蟲防治簡易網室內種植之銘星甜椒的害蟲，結果顯示基徵草蛉幼蟲對於銘星甜椒作物害蟲如棉蚜及粉介殼蟲等小型害蟲，具有明顯壓制族群減少爲害之防治效益；對於銀葉粉蝨僅於栽種部分期間具有壓制作用，整體之防治效果不是很顯著；至於其他害蟲發生數量少，二種處理組之間害蟲平均密度並未有明顯的不同。

草蛉釋放組及對照組在栽種 1 週至 6 週期間，棉蚜之發生數量均極低（圖 1），但對照組至 7 週棉蚜之發生數量急速上升至平均爲 154.8 隻/葉，釋放組僅爲 0.3 隻/葉，對照組至 8 週時棉蚜之發生數量持續攀升最高，達到 243.6 隻/葉，至 9 週之發生數量亦維持在 235.2 隻/葉之多；釋放組至 8 週之發生數量爲 1.1 隻/葉，在 9 週之發生數量僅達 18.1 隻/葉；對照組至 10 週之發生數量急速驟降爲 16.5 隻/葉，往後三週之發生數量逐漸下降，而釋放組自 10 週至 13 週之發生數量持續受到控制，維持在 15.4 隻/葉以下之密度，由上結果可知基徵草蛉防治棉蚜具成效。在甜椒栽培過程可以觀察到草蛉釋放組之植株生長情形良好，但對照組之植株因蚜蟲吸食爲害嚴重，不僅使植株心葉造成皺縮捲曲，也因蚜蟲分泌蜜露致植株葉片有煤煙病之發生，影響光合作用，嚴重造成植株落葉。

銀葉粉蝨在試驗栽種期間之發生數量不高，草蛉釋放組及對照組均分別在 0.8 與 1.2 隻/葉以下（圖 2），全期二種處理組之間粉蝨密度雖互有高低，僅於第 6 週對照組之發生數量上升到 1.2 隻/葉，和釋放組平均數量 0.2 隻/葉，具有顯著差異；以及至 9 週對照組之數量下降爲 0.7 隻/葉，但和釋放組 0.2 隻/葉之間具顯著差異。其餘對照組在 7 週之發生數量平均爲 1.2 隻/葉，和釋放組之數量控制在 0.8 隻/葉，沒有顯著差異 ($t=-1.36$, $p=0.18$)；對照組在 8 週之發生數量平均爲 0.8 隻/葉，和釋放組之數量控制在 0.5 隻/葉，亦沒有顯著差異 ($t=-1.42$, $p=0.16$)。對照組至 11 週之發生數量平均爲 0.3 隻/葉，和釋放組 0.4 隻/葉之數量，二者之間並沒有顯著差異 ($t=0.14$, $p=0.89$)；在 12 週時二者之發生數量平均爲 0 隻/葉，無顯著差異 ($t=0.97$, $p=0.34$)；而在 13 週之發生數量

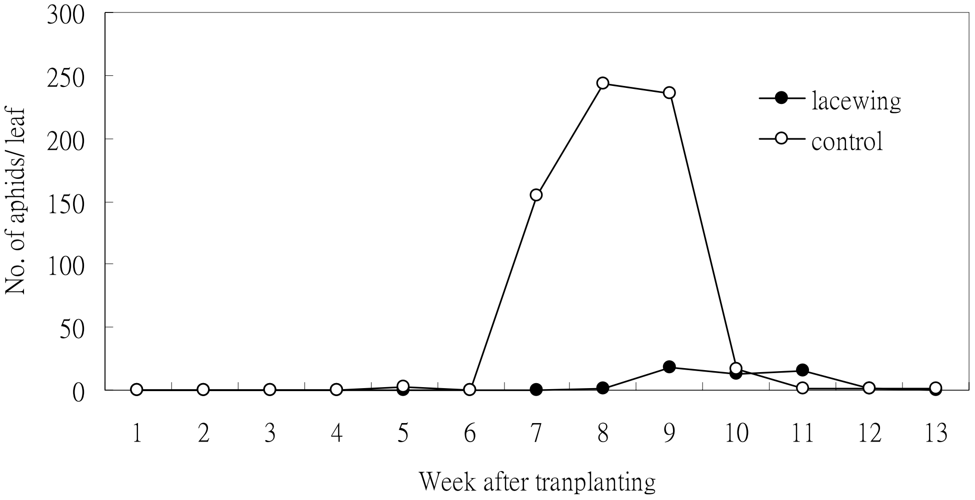

圖 1. 釋放基徵草蛉對甜椒上棉蚜密度之影響。

Fig. 1. Effect of *M. basalis* releasing on densities of *Aphis gossypii* occurred on sweet pepper. sweet pepper.

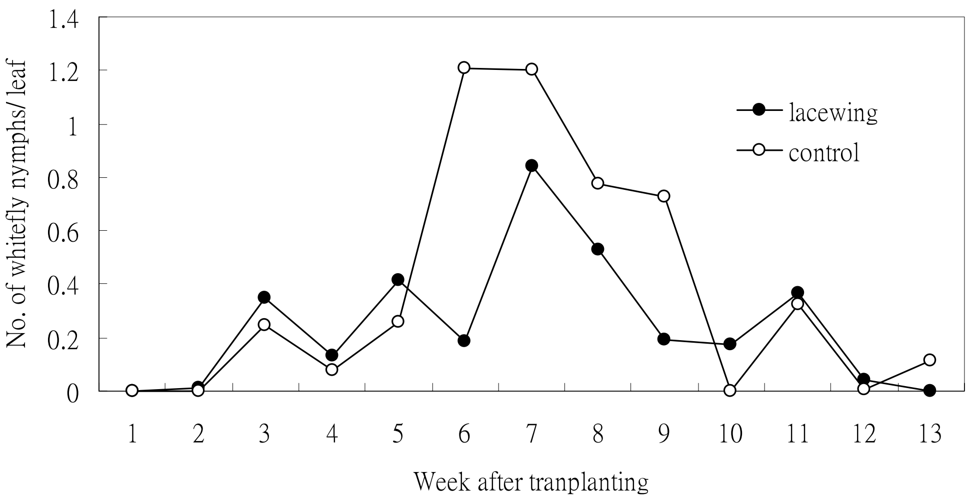

圖 2. 釋放基徵草蛉對甜椒上銀葉粉蝨密度之影響。

Fig. 2. Effect of *M. basalis* releasing on densities of *Bemisia argentifolii* occurred on sweet pepper.

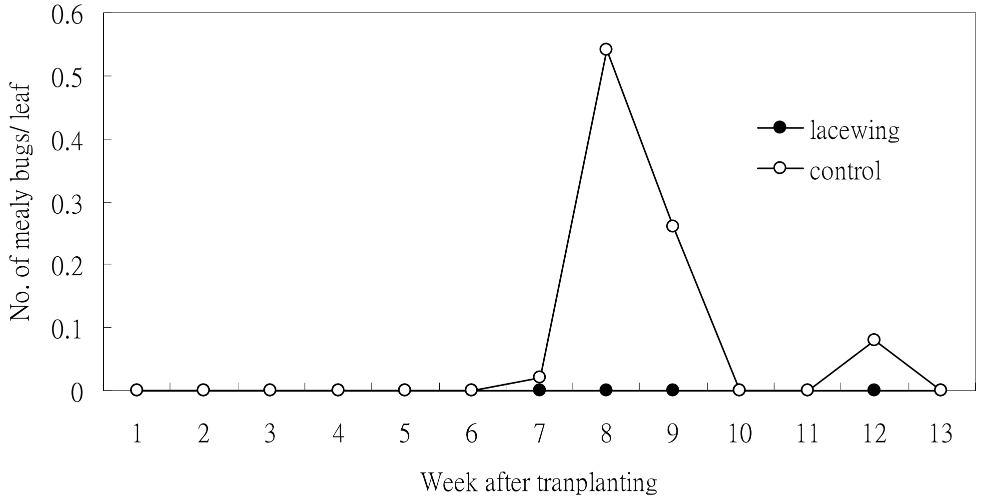

圖 3. 釋放基徵草蛉對甜椒上粉介殼蟲密度之影響。

Fig. 3. Effect of *M. basalis* releasing on densities of *Phenacoccus* sp. occurred on sweet pepper.

平均爲 0.1 隻/葉，和釋放組 0 隻/葉之數量，二者亦無顯著差異 (t＝－1.13, p＝0.26)。綜上所述，釋放組對於銀葉粉蝨之防治能力僅於栽種第 6 週及第 9 週時顯示壓抑密度之效果，其餘栽種時間的防治效果並不顯著。

二種處理組在栽種前 6 週皆未發生粉介殼蟲（圖 3），對照組在 8 週至 9 週有少量發生，平均 0.5 及 0.3 隻/葉，在 10 週後之發生數量下降至 0.1 隻/葉以下，釋放組全期均未出現，應是草蛉的取食壓制粉介殼蟲的發生爲害。

甜椒採收時每小區處理組逢機選取各 20 個果粒，以平均值進行 t-test 分析，比較重量及大小差異，結果（表 2）草蛉釋放組之果粒平均重量爲 83.2 ± 12.0 g，顯著較對照組的 38.4 ± 6.6 g 爲重；又釋放組之果粒長度及寬度分別爲 14.2 ± 1.0 cm 及 5.1 ± 0.3cm，也顯著比對照組的 10.9 ± 0.7 cm 及 4.0 ± 0.2 cm 爲大；且釋放組之果形，亦較對照組爲佳（圖 4），由此可知，害蟲爲害甜椒直接影響葉片正常光合作用及植株生長勢外，也間接對日後甜椒之產量及品質影響甚鉅，而釋放草蛉可以減少害蟲的發生密度及降低爲害程度，使植株生長良好外，最終可以增加產量及提高品質。

表 2. 釋放基徵草蛉採收甜椒果重及大小之比較

Table 2. Comparison of fruits between *M. basalis* released and control treatments

Treatment	Weight (g)	Length (cm)	Width (cm)
lacewing releasing	83.2 ± 12.0 a [z]	14.2 ± 1.0 a	5.1 ± 0.3 a
Control	38.4 ± 6.6 b	10.9 ± 0.7 b	4.0 ± 0.2 b

[z] Means followed by different letters under each fruit characteristics are significantly different by t-test (P≦ 0.05)

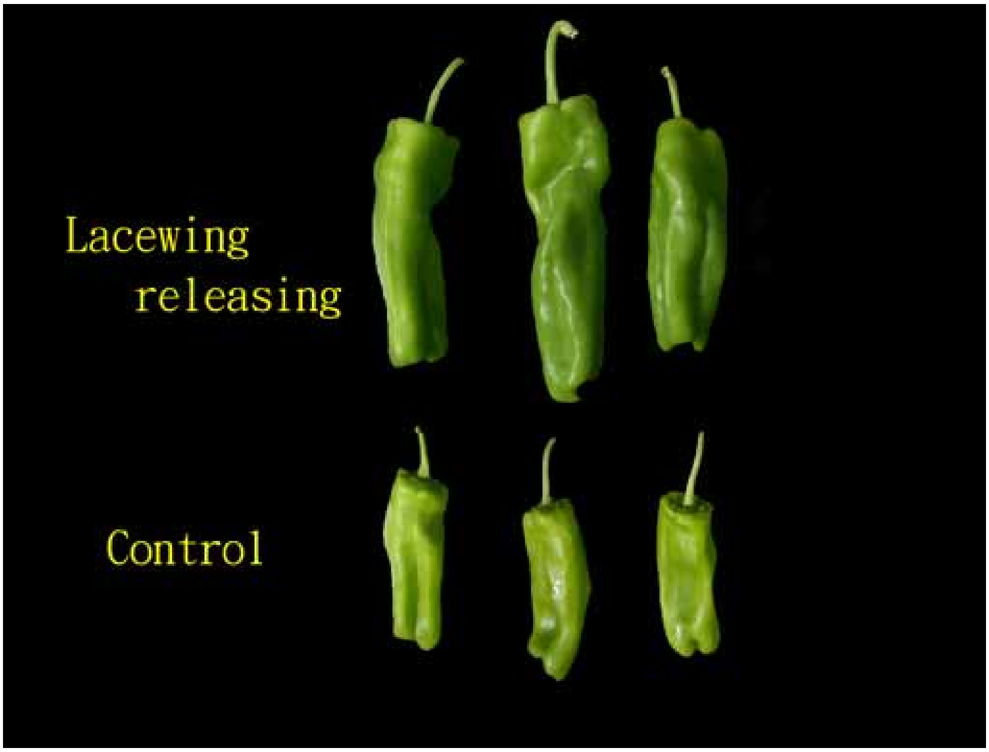

圖 4. 甜椒果粒果形及大小情形。

Fig. 4. Shape and size of sweet peppers harvested from *M. basalis* releasing and the control treatments.

討 論

番椒作物上之害蟲種類，以往有過調查，Chen (1995) 報告指出，甜椒與番椒植株上主要發生之害蟲有棉蚜、夜盜蟲類、茶細蟎及二點葉蟎。另據 Wang & Tu (1997) 報告番椒植株上的主要害蟲則有茶細蟎、斜紋夜蛾、棉蚜及神澤葉蟎 (*Tetranychus kanzawai* Kishida)，次要害蟲包括切根蟲 (*Agrotis* spp.)、其他蛾類幼蟲如台灣黃毒蛾 (*Porthesia taiwana* Shiraki) 及粗腳緣椿象 (*Anoplocnemis phasianus* Fabricius) 等。本次調查網室栽培甜椒之害蟲種類，結果顯示主要以棉蚜及銀葉粉蝨爲主，且由此次調查發現有 *Phenacoccus* 屬之粉介殼蟲爲害甜椒作物，根據報告記載該屬粉介殼蟲之寄主植物有木棉科 (Bombacaceae) 的榴槤 (*Durio zibethinus* Murray)；豆科 (Fabaceae) 的含羞草 (*Mimosa pudica* L.)；茄科 (Solanaceae) 的山煙草 (*Solanum verbascifolium* L.)；桑科 (Moraceae) 的垂榕 (*Ficus benjamina* L.)、桑樹 (*Morus australis* Poir) 及錦葵科 (Malvaceae) 的芙蓉 (*Hibiscus mutabilis* L.) (Wong *et al*. 1999)；莧科 (Amaranthaceae)的 *Amaranthus* sp.；禾本科 (Gramineae) 的 *Chloris* sp.、甘蔗 (*Saccharum officinarum* L.)；馬鞭草科 (Verbenaceae)的馬纓丹 (*Lantana camera* L.)；豆科的賽芻豆 (*Macroptilium atropurpureum* (DC.) Urb.)；菊科 (Asteraceae) 的小花蔓澤蘭 (*Mikania micrantha* Kunth)；胡椒科 (Piperaceae)的黑胡椒 (*Piper nigrum* L.) 及錦葵科的 *Sida* sp.、金午時花 (*Sida acuta* Burm. f.) (Williams & Butcher 1987)；大戟科 (Euphorbiaceae) 的樹薯 (*Manihot esculenta* Crantz) (Abate *et al*. 2000)，在台灣栽種甜椒上則爲首次記錄。

Wu (1992) 研究指出釋放基徵草蛉可以有效降低柑桔園之柑桔葉蟎 (*Panonychus citri* (Mcgregor)) 發生密度，Chang ＆ Huang (1995) 報告指出，釋放基徵草蛉防治草莓葉蟎如二點葉蟎及神澤葉蟎，評估亦可有效降低此二種葉蟎之發生密度。另外，2002 年 Hao 研究報告指出，利用基徵草蛉釋放於網室栽培印度棗園防治粉介殼蟲 (*Planococcus citri* (Risso)) 及柑桔葉蟎，結果顯示也具防治效益。本次測試基徵草蛉對於設施內之蚜蟲、銀葉粉蝨及介殼蟲等害蟲亦具不同程度之防治成效。

本次試驗對照組之蚜蟲在 10 週以後之數量急速驟降，粉蝨及介殼蟲在 8 週及 9 週以後之數量亦開始下降，甚至完全消失。雖然在栽培 8 週至 13 週時，曾發現少數瓢蟲在植株上活動，但因密度不高，其出現與蚜蟲數量的降低沒有太大關聯。試驗末期對照組害蟲密度降低主要原因，應是當時已逢 5 月，簡易網室內溫度昇高，並不適合蚜蟲生長，此外甜椒葉片已遭蚜蟲等過度爲害，無法繼續提供害蟲生存之充足養份。

此次釋放之草蛉雖具抑制害蟲族群的能力，但當害蟲密度高時仍有部分存在植株葉片上繼續爲害，故釋放草蛉的數量可視害蟲發生情形酌予增加，以期防治效果更佳。甜椒在簡易網室內栽種原本可以藉由紗網設施阻礙大型害蟲如夜蛾類的入侵，但本試驗調查期間仍發現有極少的斜紋夜蛾爲害，該蟲入侵的途徑與簡易網室不夠嚴密，致產生較大縫隙，或是進出網室之入口未予關密有關，因此栽種期間應隨時檢查網室避免上述情形發生。

銘星甜椒品種的果粒依其特性重量可達 180 g (Hung 1995)，本次試驗組所栽種採收的果粒平均重量較輕，對照組的果粒重量更輕，可能原因係本次甜椒試驗栽種在空間有限的圓形塑膠盆內，使養份的供給及吸收不如在露地栽種的充足，以及此次甜椒試驗栽種時間非銘星品種之適種時間，加上任意由害蟲直接爲害影響植株正常發育，致收穫之果粒重量及品質較低。

綜合以上結果，釋放基徵草蛉幼蟲對於設施內甜椒上之蚜蟲及粉介殼蟲等害蟲具有防治效益。釋放時視害蟲密度而調整釋放數量，並配合黃色誘蟲板之懸掛及加強網室管理之措施，則防治效益會更爲顯著。由於基徵草蛉在釋放之環境下難以自然增殖，田間防治時應持續定期釋放，方可有效抑制害蟲之族群爲害。目前台灣害蟲防治主要噴施農藥直接控制其發生，使用農藥後會引起抗藥性及殘毒問題與破壞生態環境，使用時需特別小心謹慎。天敵昆蟲作爲生物防治之用在台灣雖尚未普遍，然利用捕食性天敵防治害蟲可以減少上述使用農藥的缺點，相信未來會廣爲應用在農業生產管理上。

誌　　謝

由行政院農業委員會農業試驗所科技計畫 91-農科-7.2.3-農-C1 (Z) 經費補助，試驗期間承蒙園藝組王三太副研究員提供甜椒種苗及試驗場地，應用動物組翁振宇先生鑑定介殼蟲及邱春美小姐協助試驗，謹此申謝。

引用文獻 (Literature cited)

Abate, T., A. Van. Huis, and J. K. O . Ampofo. 2000. Pest management strategies in traditional agriculture: an African perspective. Annu. Rev. Entomol. 45: 631-659.

Anonymous. 2004. Bitter gourds, eggplants, tomatoes and peppers . p.64-65. *in*: Agricultural Statistics Yearbook. Council of Agriculture Pub. Taipei. (in Chinese)

Chang, C. P. and S. C. Huang. 1995. Evaluation of effectiveness of releasing green lacewing, *Mallada basalis* (Walker) for the control of tetranychid mites on strawberry. Plant Prot. Bull. 37: 41-58. (in Chinese with English abstract)

Chang, C. P., T. K. Wu, and Y. F. Chang. 1997. The natural enemy-rearing and utilization of green lacewing. p.77-89. *in*: Proceeding of Symposium on Insect Ecology and Biological Control. Chinese J. Entomol., Spec. Pub. No. 10 Taipei. (in Chinese with English abstract)

Chen, W. S. 1995. Sweet pepper and chilly pepper. p.225-226. *in*: Taiwan Agriculture Encyclopedia (Crop edition-3) (Hung, B. F. ed.) Harvest Farm Magazine Pub. Taipei. (in Chinese)

Hao, H. H. 2002. Application of Phytoseiid and Chrysopid for pest control in nethouse orchard. p. 49-58. *in*: Proceeding of the Symposium on the Biological Control of Agricultural Insects and Mites. Formosan Entomol., Spec. Pub. No. 3 Taipei. (in Chinese with English abstract)

Harbaugh, B. K. and R. H. Mattson. 1973. Lacewing larvae control aphids on green-house snapdragons. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 98: 306-309.

Hung, C. H. 1995. Current situation and future prospect in production of Solanaceous fruit vegetables in Taiwan. p.39-110. *in*: Proceeding of Symposium on Improvement of Vegetable Industry in Taiwan (Kuo, J. Y. ed.). Taichung Dis. Agric. Improv. Sta. Pub. Zhanghua. (in Chinese with English abstract)

Lee, S. J. 1979. Biology and Population Ecology of *Paurocephala psylloptera* Crawford and Its Predator, *Chrysopa boninensis* Okamoto. Department of Entomology, National Chung Hsing University, Master’s thesis. Taichung. 69 pp. (in Chinese with English abstract)

Lee, W. T. 1994. Technical development of microencapsulated artificial diets for *Mallada basalis* Walker. Chinese J. Entomol. 14: 47-52. (in Chinese with English abstract)

Lopez, J. D. Jr., R. L. Ridgway, and R. E. Pinnell. 1976. Comprative efficacy of four insect predators of the bollworm and tobacco budworm. Environ. Entomol. 5: 1160-1164.

Nee, H. H. 1983. Life History, Predation, and Population Increase of *Chrysopa boninensis* Okamoto and Its Prey, *Myzus persicae* Sulzer. Department of Entomology, National Chung Hsing University, Master’s thesis. Taichung. 64 pp. (in Chinese with English abstract)

Ridgway, R. L. and S. L. Jones. 1969. Inundative releases of *Chrysopa carnea* for control of Heliothis on cotton. J. Econ. Entomol. 62: 177-180.

Shands, W. A., C. C. Gordon, and G. W. Simpson. 1972. Insect predators for controlling aphids on potatoes. 6. Development of a spray technique for applying eggs in the field. J. Econ. Entomol. 65: 1099-1103.

Tulisalo, U. and T. Tuovinen. 1975. The green lacewing *Chrysopa carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) used to control the green peach aphid *Myzus persicae* and the potato aphid *Macrosiphum euphorbiae* (Homoptera: Aphididae) on greenhouse green peppers. Ann. Entomol. Fenn. 41:

94-102.

Wang, S. S. and D. I. Tu. 1997. Fruits and vegetables class sweet peppers and hot pepper fruits. p. 31-39. *in*: The Special Publication on the Vegetable Insect Pest for the IPM. (Huang, Y. C., Y. H. Huang. H. Y. Chen. K. Y. Fan, and Y. F. Wu, eds.) Department Agricultural Forest of Taiwan Provincial Government Publication. Nantou. (in Chinese)

Williams, D. J. and Butcher, C. F. 1987. Scale insects (Hemiptera: Coccoidea) of Vanuatu. New Zealand Entomol. 9: 88-99.

Wong, C. Y., S. P. Chen, and L. Y. Chou. 1999. Guidebook to Scale Insects of Taiwan. Taiwan Agric. Res. Inst. Press, Taichung . 98 pp. (in Chinese)

Wu, T. K. 1992. Feasibility of controlling citrus red spider mite, *Panonychus citri* (Acarina: Tetranychidae) by green lacewing, *Mallada basalis* (Neuroptera: Chrysopidae). Chinese J. Entomol. 12: 81-89. (in Chinese with English abstract)

Control Effect of *Mallada basalis* on Insect Pests of Nethouse Sweet Peppers[1]

Chiu-Tung Lu[2, 3] and Chin-Ling Wang[2]

Abstract

Lu, C. T. and C. L. Wang. 2006. Control effect of *Mallada basalis* on insect pests of nethouse sweet peppers. J. Taiwan Agric. Res. 55:111-120.

This paper reports the releasing of green lacewing (*Mallada basalis* (Walker)) as a biological control agent for insect pests of sweet peppers in net houses. Surveys of insects on sweet peppers were undertaken as references for the control. The mealy bug, *Phenacoccus* sp. was found for the first time on sweet peppers. Three lacewing larvae were released on each plant in a seven days interval throughout the growing period. Results showed that populations of *A. gossypii*, *B. argentifolii* and *Phenacoccus* sp. were depressed effectively. Fruits harvested from lacewing-released plants were heavier, larger and having a better shape than CK.

Key words: *Mallada basalis*, Sweet pepper, Biological control.

1. Contribution No.2257 from Agricultural Research Institute, Council of Agriculture. Accepted: May 21, 2006.
2. Assistant Entomologist and Head and Senior Entomologist, Applied Zoology Division, ARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
3. Corresponding author, e-mail: ctlu@wufeng.tari.gov.tw； Fax: (04) 23302804.

台灣農業研究(J. Taiwan Agric. Res.) 55(2):121~134(2006)

氣象資源於水稻利用效率之探討[1]
II 水分利用效率

姚銘輝[2,4] 陳守泓[2] 陳述[3]

摘　　要

姚銘輝、陳守泓、陳述。2005。水稻對氣象資源利用效率之探討- II.水份利用效率。台灣農業研究 55:121-134。

水份利用效率有不同定義，本研究目的是利用不同量測尺度及方法，探討 27 種水稻品種之水份利用效率。結果顯示，由鮑溫比/能量平衡系統所量測田間二氧化碳通量和葉面積指數變化一致，此可利用於決定水稻田正常環境之水份利用效率。盆缽試驗結果則說明水稻品種間植株用水量差異，和葉片之光合作用速率及蒸散作用速率的比值有密切關係。另經由葉片尺度比較 27 種水稻，結果顯示在乾旱環境下，秈稻及陸稻之水份利用效率較粳稻高，顯示目前的粳稻栽培品種應藉由育種加強耐旱性。另外，由乾旱葉片的葉綠素螢光參數之電子傳遞鏈，可快速及準確篩選高水份利用效率之水稻。

關鍵詞：水稻、蒸發散、通量、水分利用效率

前　　言

我國在水資源分配上，雖然以農業用水為優先，但是工業用水的經濟產值高出農業用水甚多，因此農業未來將面臨逐步釋出水權的壓力。水稻田用水佔農業用水 75%以上，除避免長期湛水及防止土層滲漏外，水稻品種之耐旱性篩選也是節水栽培重要的一環。

比較作物需水量或耗水量的差異，常用水分利用效率 (water-use efficiency；WUE) 作為評估的標準。Viets (1962) 以農藝觀點對 WUE 作以下的定義：

WUE ＝ 作物產量（通常指經濟產量）／生產此產量之用水量。

但就大批種原進行篩選，以產量做為指標則需耗費大量人物力，同時作物生育過程影響產量的因素極多，難以單獨量化水分的影響。因此，找尋快速且可信賴之偵測耐旱性的方法非常重要。過去相關研究指出，^{13}C及^{12}C同位素比值和水份利用利率呈負相關 (Dingkuhu *et al.* 1991)。但較簡易方法是以氣體交換效率 (gas exchange efficiency) 作探討，其定義為葉片光合作用速率和蒸散量的比值，可作為估算整個植冠的水分利用效率 (Fischer & Turner 1978)，此比值也用於探討小麥及高粱之田間栽培需水量估算 (Yordanov *et al.* 2001；Peng & Krieg 1992)。此外，利用葉綠素螢光也

---

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2258 號。接受日期：95 年 6 月 10 日。
2. 本所農工組副研究員、聘用人員。臺灣 臺中縣 霧峰鄉。
3. 本所作物種原組助理研究員。臺灣 臺中縣 霧峰鄉。
4. 通訊作者，電子郵件：mhyao@wufeng.tari.gov.tw；傳真機：(04)23331673。

可作爲選拔的工具，如硬質或麵包小麥在乾旱逆境 (Flagella *et al*. 1994) 和高溫 (Moffatt *et al*. 1990) 的選拔。Araus 等人 (1998) 以 144 種小麥基因型在三種不同水份環境之田間進行葉綠素螢光測定，由結果說明，葉片螢光值具有高遺傳力，對水分逆境有一致表現，而對產量也具有極高相關性。因此，葉綠素螢光値應可作爲品種產量表現或環境忍受性之選拔指標。

有關水稻栽培過程之節水研究相當多 (Bouman & Tuong 2001)。而在國內，Chen 等 (1998) 曾針對台稉 8 號不同生育時期的缺水反應作探討；Lai 等 (1998) 則比較水稻及陸稻對於土壤缺水在生長及產量上差異的比較，但目前缺少水分利用效率方面的探討，本研究選擇 27 種不同水稻種原，比較不同品種間之水分利用效率，同時比較水份利用效率在不同量測尺度或方法的差異，包括田間通量，盆缽試驗之水稻品種用水量，及葉片光合作用速率和蒸散量的比值。至於水稻乾旱時之生理反應，則比較秈稻、稉稻及陸稻三種不同遺傳特性對乾旱的反應，希望藉由各種層面的探討，能對水稻水份利用效率有更深入的了解。

材料與方法

田間水分利用效率之評估

觀測地點爲台中縣霧峰鄉農業試驗所農場之水稻試區，試區面積約爲 0.5 ha，此塊田區已連續種植水稻 10 yr 以上，栽種品種爲台農 67 號，行株距 15 × 30 cm，施肥及栽培管理依慣行方式進行。

將BREB系統 (023/CO_2 System, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA) 架設於農業試驗所農場。量測項目包括淨輻射量 (net radiation)、土壤熱流 (soil heat flux)、潛熱 (latent heat)、可感熱 (sensible heat)、鮑溫比 (Bowen ratio) 及二氧化碳通量 (CO_2 flux) 等。該系統將紅外線CO_2偵測器 (Li-6262, Licor, Inc. Lincoln. NE. USA) 設定爲差分 (differential) 模式，偵測不同高度偵測點之CO_2及水汽量，作爲計算垂直通量梯度之基礎，同時由 76 μm線徑之熱電偶線量測溫度通量。淨輻射計 (Q7, REBS, Seattle, WA, USA) 量測不同生育階段及氣象條件下之淨輻射量。土壤熱流板 (HFT3, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA) 則量測地面向下之能量項。風速及風向以二維風速計量測 (Model 0300l, R. M. Young company, Traverse city, MI, USA)。大氣溫濕度變化由溫濕度計量測 (HMP45C, Vaisala Inc., Woburn, MA, USA)。所有感測器接於資料收集器 (23X datalogger, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA)。通量計算是利用Dugas *et al*. (1999) 所述之方法，詳細原理及架設情形請參考Yoo *et al*.等 (2005a) 所述。但實際田間之蒸發散量是由土壤蒸發量及作物葉片蒸散量所組成，一般將此稱爲作物蒸發散量 (crop evapotranspiration；ET_C)。由BREB系統所量測之潛熱通量單位 (wm^{-2}) 需經單位換算爲水汽量，其公式如下：

$$ETc = 3.6 \times 10^6 \text{ (latent heat; W m}^{-2}) \times 1/ (\lambda = 2.45 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1})$$

$$ETc \text{ (g H}_20 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}) = 1.46 \times \text{(latent heat; W m}^{-2})$$

盆缽水稻品種用水量之差異比較

盆缽試驗主要在精確紀錄水稻營養生長期之用水量，試驗在具有溫控系統之精密溫室進行。將 27 種水稻種原種子經浸水消毒後，播種於含田間土壤之塑膠盆，待至三葉齡移至 1 / 2500 ha盆缽(表面積 0.06 m^2，高度 28 cm)，每一品種種植三盆，每盆種植一株，塡土深度 22 cm，再加水 3 cm，每日檢查水深度並加水至固定高度，紀錄用水量，待水稻抽穗即停止，以觀察水稻營養生長期之耗

水情形。另將地上部器官（葉及桿）裝入紙袋，置於 100℃通風乾燥箱 1-2 hr後，再以 80℃處理至完成乾燥，秤量乾物重。

水稻 27 種品種包括我國目前栽培種，如稉稻之台稉 2、8、9 號，台農 67、71 號；秈稻如台中秈 10、11、17 號，台中再來 1 號，台農秈 12 號；陸稻如南陸 2 號，台農選 2 號及東陸 3 號。國外品種如 IR8、28、36、54、60、64、72、M2O2、Milyang 23、CICA 8、Koshihikari（越光）、Warisan mochiz, Lemont 及 kri24 等品種。

葉片水分利用效率之評估

光合作用速率及蒸散速率量測：利用光合作用分析儀 (Model 6400 Licor, Inc. Lincoln. NE. USA) 量測水稻葉片光合作用速率、蒸散速率、氣孔導度及氣孔內腔二氧化碳濃度 (Ci) 之數值。

水稻葉片之葉綠素螢光測定：將所欲測量葉片置於葉綠素螢光測定儀 (Chlorophyll fluorometer, MINI-PAM, Heinz Walz, Germany) 的偵測器 (sensor head) 上，同時儀器包括測定瞬間光強及葉溫，所得資料由儀器下載至電腦分析。螢光參數之定義依據 Schreiber *et al.* (1994) 所述，qP 及 qN 分別定義為 (M-F)/(M-Fo) 及 (Fm-M)/(Fm-Fo)，M 包括 Fm 或 Fm'。Yield 則定義為 (M-F)/M=△F/M=△F/Fm'。電子傳遞速率 (electron transfer rate; ETR) 是由螢光參數乘以光合作用光量子密度 (photosynthetic active radiation; PAR) 及係數，其計算式如下：

ETR=Fm’ - Fo / Fm × PAR × 0.5 × 0.84

其中Fm’-Fo/Fm為光化學產量 (photochemical yield)； PAR單位為μmol quanta m^{-2} s^{-1}；0.5 為傳遞一個電子需吸收 2 光量子 (quanta)；0.84 是作物葉片吸收光量子之係數。

水稻葉片水份狀態之測量：水稻葉片水分含量是以相對水分含量 (relative water content；RWC) 表示，該比值以（葉鮮重-葉乾重）/（葉膨重-葉乾重）作計算，其中葉膨重是指將葉片浸泡於蒸餾水中三小時，至葉片細胞完全吸水飽和時之重量。一般認為相對水分含量表示葉片乾燥程度較水潛勢 (water potential) 為佳，是因為 RWC 考慮到細胞體積大小，可反應葉片水分供應和蒸散速率間的平衡 (Schonfeld *et al.* 1988)。為方便說明葉片水分狀態，本試驗將水稻乾旱分為三種程度，分別為輕微缺水（葉片顏色變暗，但不捲曲，RWC 大於 0.8）、中度缺水（葉片有捲曲現象，但澆水後會葉片恢復膨壓，RWC = 0.7- 0.8），及嚴重乾旱（澆水也無法恢復葉片捲曲現象，RWC 小於 0.7）等三種乾旱程度。

結　果

水份利用效率可由不同尺度做探討，圖 1 是以田間大面積水稻田為尺度的量測結果。水分利用效率是以植冠上方CO_2通量和水汽通量的比值作表示，其中CO_2通量是指葉片吸收CO_2行固碳作用之量扣減葉片光呼吸 (photorespiration) 之排放量，另由於所取資料皆選擇土壤湛水環境，土壤呼吸可忽略不計（Yao & Chen 2005a）。由量測結果顯示，葉面積指數高則固定CO_2的潛能即高，這可由在通量數值的差異上反應。而就日變化而言，太陽輻射量直接影響CO_2固定量，輻射強度高則植冠CO_2通量值高，但正午有時會受高溫或雲量而有所影響。若就取樣資料中，水稻植冠最高CO_2通量可達 3 mg m^{-2} s^{-1}。植冠水汽通量是由土壤水分蒸發及葉片蒸散量的總和，水稻生育初期湛水環境下，水汽通量主要為土壤水面之蒸發所致，隨水稻生育時期葉面積之增加，至葉面積指數 2.5-3.5 之間，葉片覆蓋整個土面，水汽通量則以葉片蒸散量為主（Yao *et al.*等人 2003）。因此

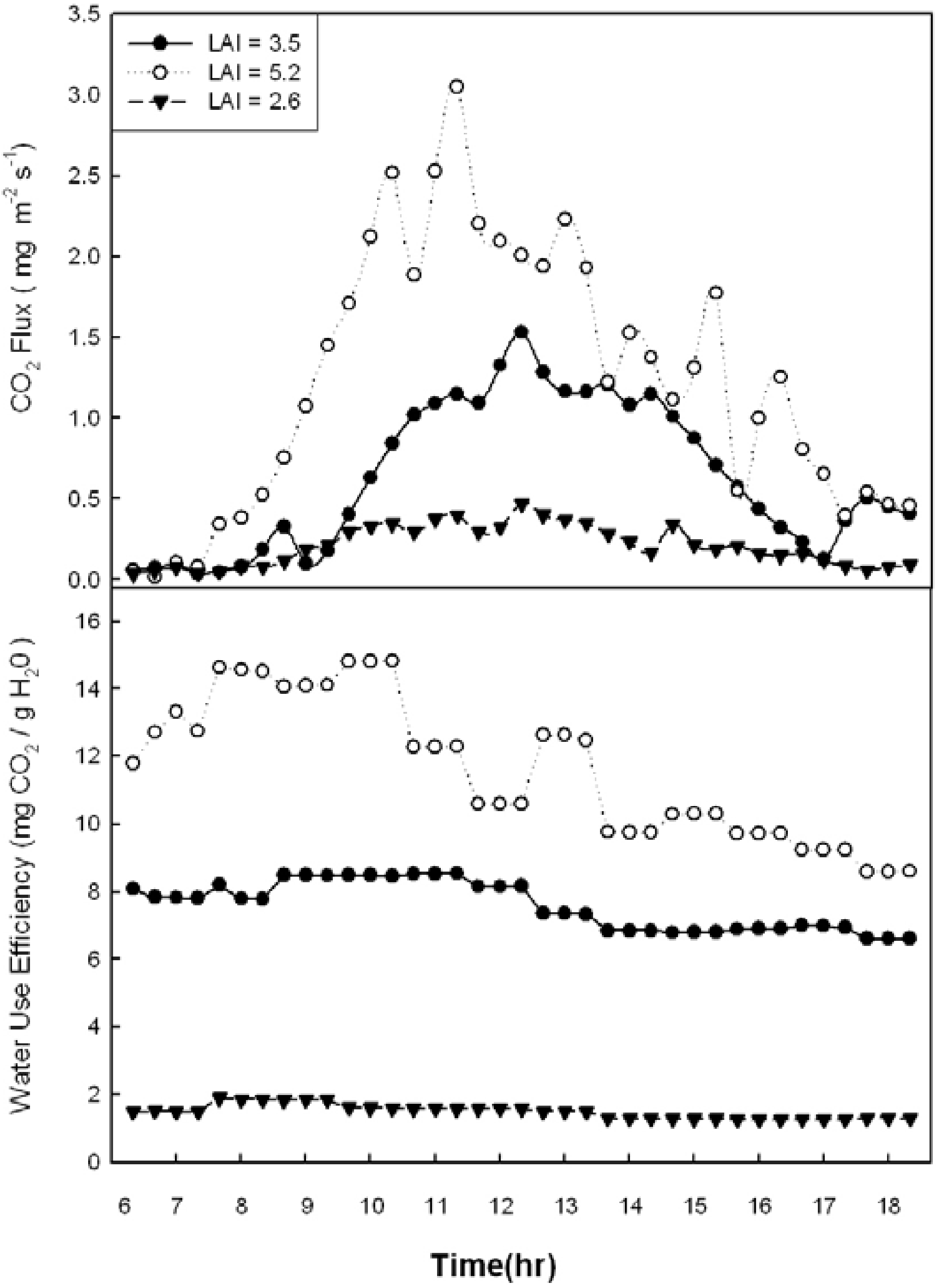

圖 1. 水稻生育期間不同葉面積指數之二氧化碳通量、水汽通量及水分利用效率之日變化。

Fig 1: Daily changes of the CO_2 flux, water vapour flux and water use efficiency in different leaf area indices during the growing stge of rice.

表 1. 比較 27 種水稻品種在乾旱處理下氣體交換特性及水份利用效率之差異

Table 1. Compare the gas exchange traits and water use efficiency among 27 rice cultivars with drought treatment.

Cultivar		Photosynthesis rate (μ mol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$)		% of control	Transpiration (mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$)		% of control	WUE[z] (μ mol CO_2/ mmol H_2O.)	
		Control	Drought		Control	Drought		Control	Drought
Taichung sen 1	I[y]	10.90 ±0.67	4.11 ±1.26	37.74	2.57 ±0.27	0.80 ±0.15	31.12	4.23	5.11
Taichung sen 10	I	15.63 ±2.43	8.12 ±0.54	51.93	2.35 ±0.29	1.10 ±0.13	46.81	6.63	7.36
Taichung sen 11	I	11.30 ±1.23	4.32 ±0.28	38.30	3.19 ±0.50	0.81 ±0.14	25.39	3.53	5.31
Taichung sen 17	I	14.22 ±1.51	4.72 ±0.62	33.20	2.57 ±0.51	0.62 ±0.15	24.12	5.53	7.58
Tainung sen 12	I	14.14 ±1.36	3.35 ±0.39	23.72	2.55 ±0.49	0.55 ±0.10	21.57	5.54	6.07
Tainung select 2	I	13.62 ±2.96	7.67 ±0.82	56.34	2.36 ±0.47	1.16 ±0.26	49.15	5.76	6.57
Nan Lu 2	I	12.09 ±1.16	6.67 ±0.39	55.19	3.11 ±0.27	0.95 ±0.21	30.54	3.87	6.97
Tung Lu 3	I	12.18 ±1.57	7.82 ±0.83	64.22	2.00 ±0.27	1.09 ±0.25	54.50	6.08	7.14
IR 8	I	12.88 ±1.28	6.22 ±0.92	48.31	3.07 ±0.47	1.00 ±0.13	32.57	4.18	6.20
IR28	I	12.68 ±0.98	4.77 ±0.56	37.62	2.56 ±0.25	0.96 ±0.22	37.50	4.94	4.93
IR36	I	13.19 ±1.53	7.73 ±0.76	58.61	2.88 ±0.31	1.55 ±0.28	53.82	4.57	4.97
IR54	I	15.38 ±1.50	7.52 ±0.17	48.90	3.08 ±0.20	1.18 ±0.15	38.31	4.97	6.35
IR 60	I	12.96 ±1.18	8.17 ±0.87	63.07	2.60 ±0.25	1.13 ±0.13	43.46	4.97	7.17
IR 64	I	13.56 ±1.43	6.22 ±0.93	45.90	2.86 ±0.28	0.84 ±0.21	29.37	4.73	7.39
IR72	I	12.24 ±1.30	7.46 ±0.51	60.92	2.43 ±0.35	1.11 ±0.07	45.67	5.02	6.69
CICA 8	I	14.07 ±2.18	7.34 ±0.41	52.18	2.51 ±0.41	1.77 ±0.20	70.52	5.60	4.13
Taikeng 2	J[x]	13.40 ±0.96	7.33 ±0.89	54.71	2.67 ±0.25	1.37 ±0.15	51.31	5.00	5.32
Taikeng 8	J	12.97 ±1.50	4.29 ±0.31	33.12	2.79 ±0.32	0.79 ±0.22	28.31	4.64	5.43
Taikeng 9	J	13.17 ±1.18	4.79 ±0.79	36.39	3.32 ±0.21	1.92 ±0.42	57.83	3.96	2.49
Tainung 67	J	15.47 ±1.46	6.01 ±0.88	38.86	3.55 ±0.49	1.12 ±0.25	31.55	4.35	5.34
Tainung 71	J	11.03 ±0.70	6.39 ±0.27	57.95	2.82 ±0.44	1.49 ±0.23	52.83	3.90	4.27
KRI-24	J	13.52 ±2.11	2.75 ±0.45	20.40	2.02 ±0.26	0.82 ±0.18	40.59	6.67	3.35
Koshihikari	J	10.53 ±1.02	4.33 ±0.29	41.13	2.67 ±0.32	1.04 ±0.20	38.95	3.94	4.15
LEMONT	J	11.88 ±1.22	6.79 ±0.78	57.16	2.27 ±0.20	1.59 ±0.46	70.04	5.22	4.25
M202	J	16.62 ±1.64	4.53 ±0.47	27.28	2.50 ±0.32	0.74 ±0.13	29.60	6.64	6.05
Milyang 23	J	15.62 ±0.84	6.67 ±0.55	42.73	3.76 ±0.42	1.25 ±0.13	33.24	4.14	5.53
Warisan mochiz	J	9.95 ±1.18	4.09 ±0.20	41.13	2.59 ±0.37	1.21 ±0.24	46.71	3.84	3.38

[z] water use efficiency ; [y] Indica rice; [x] Japonica rice

表 2. 27 種水稻品種在乾旱處理之氣體交換特性及葉綠素螢光參數之相關性

Table 2. Correlation coefficients for gas exchange traits and chlorophyll fluorescence parameters of 27 rice genotypes in drought treatment.

	A[z]	C	T	WUE	F’	FM’	Fo	Fm	q P	q N	ETR	Fv/Fm	Fv’/Fm’
A[+]	1	0.835**[y]	0.837**	0.122	-0.048	0.007	-0.002	-0.067	0.067	-0.016	0.490**	-0.043	0.111
C		1	0.965**	-0.306**	-0.019	0.030	0.093	-0.048	0.043	-0.035	-0.212**	-0.127	0.083
T			1	-0.387**	-0.023	0.003	0.070	-0.028	0.020	-0.003	-0.285**	-0.091	0.047
WUE				1	0.045	0.083	-0.110	-0.071	0.014	-0.101	0.716**	0.070	0.054
F’					1	0.901**	0.131	0.144**	-0.783**	-0.885**	0.628**	-0.046	-0.650**
FM’						1	0.168*	0.182**	-0.500**	-0.975**	0.711**	-0.064	-0.275**
Fo							1	0.404**	-0.027	-0.057	-0.051	-0.804**	-0.023
Fm								1	-0.020	0.032	-0.049	0.218**	-0.009
q P									1	0.507**	-0.328**	0.013	0.932**
q N										1	-0.736**	0.084	0.280**
ETR											1	0.021	-0.163
Fv/Fm												1	0.014
Fv’/Fm’													1

[z] Abbrevation, A: photosynthetic rate; C: stomatal conductance; T: transpiration rate; WUE: water use efficiency; qP: photochemical quenching; qN: non-photochemical quenching coefficient; ETR: electron transport rate; Fv/Fm: PSII maximum quantum yield; Fv’/Fm’: PSII effective quantum yield.

[y] *,**Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels according to the analysis of two-tailed test.

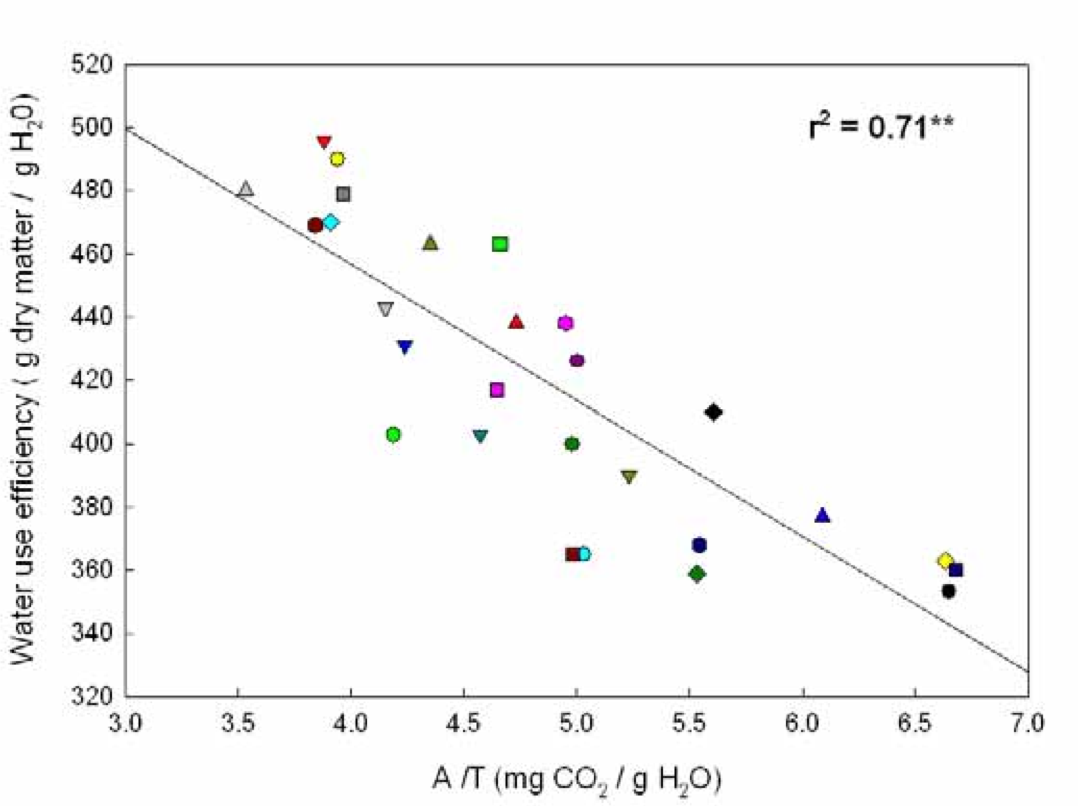

圖 2. 27 種水稻品種之水份利用效率和葉片光合作用及蒸散速率比值之相關性。(每一符號代表一品種之平均值)

Fig 2. Water use efficiencies of 27 rice cultivars vs their ratios of carbon assimilation rate (A) to transpiration rate (T) in pot-scale. Each symbol represent the mean for one cultivar. (**significant at the 0.01 probability level.)

本試驗所選取資料即以葉面積指數大於 2.5，水汽通量以葉片蒸散量爲主的資料。但由圖 1 結果說明水汽通量較CO_2通量不受葉面積影響，因此，水份利用效率由固碳作用能力決定，葉面積指數高之植冠則水份利用效率高，同時水份利用效率之日變化也不受溫度及光強影響，而呈線性變化。

以田間CO_2及水汽通量探討水份利用效率雖然是最直接的方法，但需要有足夠大的吹風距離(fetch)，一般認爲合適比值爲 1:100，即株高 1 m之水稻田，需在四周圍 100 m皆相同作物及高度之植冠，這種量測限制對於探討品種間之水份利用效率試驗進行上有困難，同時乾旱處理在田間也不易控制。圖 2 是以盆缽方式在塑膠布精密溫室種植 27 種水稻品種，由三葉齡苗至開花期前爲止，記錄此段時期之給水量及最終作物乾物種，兩者的比值作爲盆缽水稻之水份利用效率，並探討葉片光合作用速率及蒸散作用速率之比值的相關性，兩者相關性高達 0.71，即以葉片所量測結果可作爲評估整株水稻之水份利用效率。

表 1 是將 27 種水稻分別比較正常及乾旱葉片之光合作用速率、蒸散速率及水份利用效率。這裡乾旱葉片是指中度缺水程度。每一品種由於生理特性不同，在正常供水環境下之水份利用效率即不同，但在乾旱處理下，除少數外國種及台稉 9 號外，大部分品種葉片缺水後水份利用效率提高，

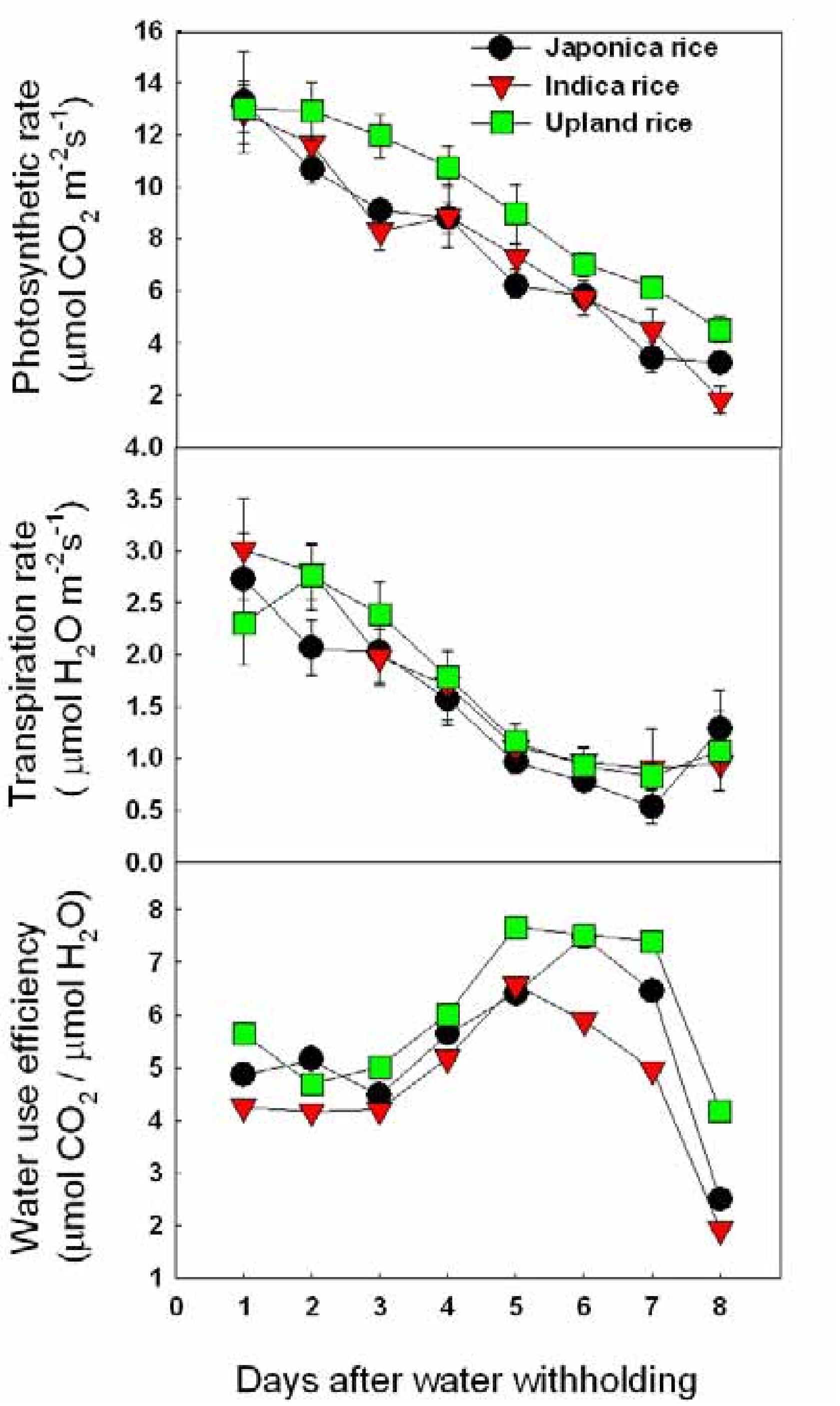

圖 3. 三種不同水稻基因型（粳稻、秈稻及陸稻）在乾旱過程之氣體交換反應。

Fig 3. Gas exchange response of three different rice genotypes (japonica, indica and upland rice) during an imposed water stress period.

其中台中秈 17 號可達 7.58，其次包括台中秈 10 號、東陸 3 號，IR64 及 IR60 皆可達 7.0 以上，這也說明陸稻及秈稻較稉稻之水份利用效率高。而稉稻中台稉 9 號在乾旱處理後，光合作用速率僅爲對照組之 36.39%，但蒸散速率仍維持 57.83%，水份利用效率僅爲 2.49，爲所有參試品種中最低，但該品種目前仍爲我國主要栽培品種，其他包括台稉 8 號及台農 71 號（益全香米）等良質米之水份利用效率皆不高，因此，就選擇耐旱品種作爲節水栽培而言，目前栽培稉稻品種仍有極大改進空間。其他如 CICA 8 和 Lemont 兩種品種在乾旱狀態雖蒸散值高，即水分持續散失，但因光合作用速率仍維持在 50%以上，因此水份利用效率雖低，但仍在 4.0 以上。台農 67 號則是另一例子，經乾旱後光合作用及蒸散作用皆低，因此乾旱之水份利用效率爲 5.34。

圖 3 爲比較稉稻（台農 67 號）、秈稻（台中秈 10 號）及陸稻（東陸 3 號）三種基因型水稻，在觀察乾旱處理過程中光合作用、蒸散作用及水份利用效率之變化。當乾旱處理第三天之相對水分含量約爲 0.83 - 0.79，是由輕微轉爲中度乾旱；第六天之相對水分含量爲 0.72 - 0.68，是由中度轉爲嚴重乾旱。三種水稻在乾旱初期之光合作用及蒸散作用皆直線下降，但蒸散作用在排水 4 days 後即維持不變，但光合作用速率仍持續下降，此時水份利用效率達高點，至第 7、8 天葉片呈嚴重捲曲，不適於量測。

當試驗目的需處理大量樣品時，利用葉綠素螢光釋放原理，作爲探討乾旱葉片的反應及耐旱種源選拔上是值得嘗試的方法。主要原因爲該偵測方式屬非破壞性及操作簡易，同時偵測時間極短，以近紅外線氣體分析儀（以 Licor 6400 爲例）測定每一樣品約需 3-5 min，但螢光測定儀僅需 5-10 sec。因此，表 2 是將 27 種水稻之乾旱葉片氣體交換生理參數和葉綠素螢光參數做分析，其中與水分利用效率有關之螢光參數僅有電子傳遞速率 (ETR)，相關係數達 0.72，其餘則不顯著。

討　論

一般認爲水稻種植期間若能保持田區 5-10 cm 湛水深度，最適於水稻生長(Anburmozhi *et al* 1998)。但就氣候變遷或水資源調度管理而言，我國農業用水並不充裕，尤其是一期作水稻插秧期更爲敏感。節水栽培是因應缺水的調整方式，雖然有許多文獻指出，降低水稻田湛水深度，即保持土壤水分飽和但不湛水，或乾濕狀態相互更換，可在不影響水稻產量下節省 30-75%的用水 (Mishra *et al*. 1990)。但當乾旱發生時，增加灌溉頻率，需增加勞動成本，在目前農業用水仍不需付費，及仰賴政府政策救助的心態驅使下，在實際執行上恐怕不易達成。

以長期策略而言，選拔耐旱品種是可提高水資源之利用效率，而品種水份利用效率是乾旱環境栽培很重要的特性 (Friborg *et al*. 1997)。由表 1 盆缽試驗測試不同種源水稻品種可說明，品種間的水分利用效率有差異。事實上，水份利用效率在作物不同基因型也有明顯差異，包括在水稻 (Dingkuhu *et al*. 1991)、落花生 (Wright *et al*. 1988) 及黎豆 (cowpea) (Ismail & Hall 1993)。但對缺水環境而言，乾旱時之水分利用效率提高是較具實際運用的指標，就本研究所選用 27 種水稻品種中，大部分在乾旱時水分利用效率提高，提高原因在於氣孔關閉同時影響CO_2固定量及水汽蒸散量，兩者在氣孔內外通量的變動直接影響水分利用效率，如台稉 9 號光合作用速率低，但蒸散量高，水分利用效率低，也有兩項數值同時降低（如台農 67 號），但最理想爲光合作用速率降低幅度小，但蒸散量降低幅度大，使水稻在乾旱過程中能保持葉片水分及乾物種持續累積。當然，品種間的差異直接受生理反應及代謝機制所控制，可簡易將此機制分爲氣孔及非氣孔因素。氣孔關閉是缺水反應的第一步，較其他因缺水而導致生長趨緩的性狀爲快，而許多品種的耐旱機制，也因氣孔敏感反應而

減少水分的散失。非氣孔因素是在乾旱時，葉綠體固定CO_2能力降低，包括羧化反應 (carboxilation) 減少 (Wise *et al*. 1991)，RuBP再生減少 (Tezara & Lawlor 1995)，或功能型Rubisco數目減少 (Kanechi *et al*. 1995)。葉片乾旱過程有一定生理及代謝上的發生順序，圖 3 為三種不同基因型水稻在逐漸乾旱過程的變化，乾旱初期氣孔關閉，光合作用及蒸散作用同時下降，水分利用效率因為是兩者比值，因此變動幅度不大。但當持續乾旱後，三種水稻蒸散作用迅速下降，但光合作用下降較平緩，雖然水稻間固碳代謝會因酵素活性、生化反應及光氧化代謝能力而有所差異，但此時屬於中度乾旱，三種水稻之水分利用效率反而較高。中度乾旱使水分利用效率提高的原因，除氣體交換特性之變化外，細胞內澱粉較醣類更易分解，因此在水稻葉鞘有更多的碳水化合物累積 (Cabuslay *et al*. 2002)。而當植株嚴重乾旱時，即使補充水分仍無法使植株恢復，蒸散作用在中度乾旱已達低點，但光合作用速率仍持續下降，水分利用效率當然明顯下降，同時乾旱也使水稻葉片捲曲而減少光線的穿透，造成輻射利用效率的下降 (Boonjung & Fukai 1996)。

水分利用效率的評估可由不同尺度及量測項目而有所差異，田間尺度是最能直接反應差異，本研究中CO_2及水汽通量量測是以氣象觀點探討水分利用效率的方式，此種方式雖然是田間實測值，但受到量測區域限制及田間水分難以控制影響，僅能觀察一種品種正常供水栽培之水分利用效率變化。圖 1 為不同生育時期之CO_2及水汽通量變化，就日變化而言，太陽輻射量直接影響葉片光合作用進行，而蒸散作用則受大氣中水汽壓差 (vapour pressure deficit) 的影響 (Tubiello *et al*. 1999)。Mahrt & Vicker (2002) 以通量方式探討CO_2及水汽通量和水份利用效率關係，發現氣孔關閉結果對CO_2通量影響較水汽通量明顯，雖然水汽壓差和水份利用效率呈負相關 (Baldocchi 1994)，但在正常環境蒸發散量較不受葉面積指數影響，因當葉面積指數低時（包括生育初期或因乾旱葉片捲曲），則土壤水分蒸發增加 (Kelliher *et al*. 1995)。也就因為田間蒸散作用對葉面積較不敏感，因此水分利用效率數值高低受CO_2通量影響。而正常供水環境，水稻受光後氣孔開啓，光合作用及蒸散速率同時進行，因此，日變化之水份利用效率呈線性。

Cabuslay *et al*.(2002) 以水稻為材料探討水分利用效率的結果，短期缺水對水稻最明顯在於葉片的伸展速率，而非乾物重累積。但長期乾旱使植冠光合作用減低，造成穀粒充實之同化物累積減少，而乾旱引起光合作用下降的原因，包括氣孔關閉，降低光合作用酵素，葉片碳代謝機制改變及降低光系統化學效率，這可由光系統 II (photosystem II; PSII) 的光量子產量偏低證明，同時非光化學 quenching 增加 (Pieters & El Souki 2005)。育種家在選拔品系過程中，每一雜交組合有龐大分離族群，選拔族群中產量表現若能透過生理特性以簡單、快速及經濟的特性達成，則有助於選拔效率，當然所選定生理特性需能反應產量或乾物重累積的潛力。當植物遭遇逆境時，不論經由代謝過程、水分平衡或是直接對葉片表層結構的破壞，會使葉綠體對照射在葉表面的輻射能有不同反應機制。因此當作物生長環境不佳時，螢光釋放量會大幅增加 (Lichtenthaler & Miehe 1997)，學者認為螢光可作為逆境偵測的指標 (Chaerle & Seraeten 2000)。Pieters & El Souki (2005) 以兩種水稻品種探討乾旱葉片之螢光反應，結果顯示，乾旱使 PSII 光量子產量，Fv’/Fm’和 q P 下降，而 q N 則提高。就光合作用胞器內，光系統活性是提供還原力與 ATP (adenosine triphosphate) 的來源，如果 PSII 活性超過需求，過多的光合作用電子傳遞鏈產生刺激活化氧族 (reactive oxygen species) 的產生 (Asada 1992)。事實上，電子傳遞鏈和光合作用間有密切關係，有學者認為由 ETR 數值可反應光合作用速率 (Silva & Santos 2004)。而表二的結果說明，PSII 電子傳遞鏈除和光合作用成正相關外，和水分利用效率更具有顯著相關，由此結果可說明，日後對於水稻水分利用效率種源篩選，ETR 會是可供參考的指標。

就實際田間栽培而言，可經由多方面探討水分利用效率的提升。 Wallace & Batchelor (1997) 認爲在改進水稻水分利用效率可由四個方向加以思考。(i) 經由作物育種或栽培管理增加收穫指數。(ii) 經由品種選育及作物育種減少蒸散比例。(iii) 提高乾物重產量，經由施肥、病蟲害防治和適當行株距等管理措施。(IV) 由水分平衡中減少蒸散組成份，例如利用殘留物覆蓋以減少土壤水分蒸發及表面逕流。就上述四項增加水分利用效率的策略中，(i) 及 (ii) 屬於品種選育及改良部份，但除水分利用效率外，仍需有其他的考量（如品質），是屬於長期性的目標。(iii) 則有較多的研究，主要利用精準化農耕，詳細評估所需投入項（如肥料、農藥及水分等）的時機及在田間分布情形，以達到最大效率。(IV) 包括目前使用之節水技術，如增加降雨量截取，並改善灌漑技術以避免操作上之損失。目前當氣候乾旱發生時，常以休耕方式節省水資源而供給民生或工業用水之用，但水田並非僅具生產糧食的功能，包括生活及生態方面皆有其不可取代性之地位，如透過品種選育及灌漑技術的改良，可維持相同產量但大幅減少需水量，除能維持農田永續經營外，也能有效因應不良氣候所帶來的衝擊。

引用文獻 (Literature cited)

Anbumozhi, V., E. Yamaji, and T. Tabhchi. 1998. Rice crop growth and yield as influenced by change in ponding water depth, water regime and fertigation level. Agric. Water Manage. 37:241-253.

Araus, J. L., T. Amaro, J. Voltas, H. Nakkoul, and M. M. Nachit. 1998. Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. Field Crops Res. 55:209-233.

Asada, K. 1992. Ascorbate peroxidase--a hydrogen peroxide scavenging enzyme in plant. Physiol. Plant 85:235-241.

Baldocchi, D. D. 1994. A comparative study of mass and energy exchange rates over a closed C3 (wheat) and an open C4 (corn) crop. Part II. CO_2 exchange and water use efficiency. Agric. For. Meteorol. 67:291-321.

Boonjung, H. and S. Fukai. 1996. Effects of soil water deficit at different growth stage on rice growth and yield under upland conditions. II. phenology, biomass production and yield. Field Crops Res. 48:47-55.

Bouman, B. A. M. and T. P. Tuong. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. Agric. Water Manage. 49:11-30.

Cabuslay, G. S., O. Ito, and A. A. Alejar. 2002. Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. Plant Sci. 163:815-827.

Chaerle, L. and D. V. D. Seraeten. 2000. Imaging technique and early detection of plant stress. Trends Plant Sci. 5:495-501.

Chen, C. T., G. Y., Chen, Y. H. Wen, and C. P. Liu. 1998. A study on effects of saving water requirement irrigation on paddy rice growth and yield during drought period. J. Chiayi Inc. Tec. 56:39-50. (Inchinese with English abstract)

Dingkuhu, M., G. D. Farquhar, S. K. De Datta, and J. C. O'Toole. 1991. Discrimination of ^{13}C among upland rice having different water use efficiencies. Aust. J. Agric. Res. 42:1123-1131.

Dugas, W. A., M. L. Heuer, and H. S. Mayeux. 1999. Carbon dioxide fluxes over bermuda grass, native prairie, and sorghum. Agric. For. Meteorol. 93:121-139.

Fischer, R. A. and N. C. Turner. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. Annu. Rev. Plant Physiol. 29：277-317.

Flagella, Z., D. Pastore., R. G. Campanile, and N. DiFonzo. 1994. Photochemical quenching of chlorophyll fluorescence and drought tolerance in different durum wheat (*Triticum durum*) cultivars. J. Agric. Sci. 122:183-192.

Friborg, T., E. Boegh, and H. Soegaard. 1997. Carbon dioxide flux, transpiration and light response of millet in the Sahel. J. Hydrol. 189:633-650.

Ismail, A. M. and A. E. Hall. 1993. Inheritance of carbon isotope discrimination and water-use efficiency in cowpea. Crop Sci. 33:498-503.

Kanechi, M., E. Kunitomo, N. Inagaki, and S. Maekawa. 1995. Water stress effects on ribulose-1,5-biphosphate carboxylase and its relationship to photosynthesis in sunflower leaves. pp. 597-600. In : Photosynthesis : from Light to Biosphere. (Mathis, M. ed). Kluwer Acad. Pub., Dordrecht- Berlin-London.

Kelliher, F. M., R. Leunig, M. R. Raupach, and E. D. Schulze. 1995. Maximum conductance for evaporation from global vegetation types. Agric. For. Meteorol. 73:1-16.

Lai, M. H., C. M. Yang, and Y. C. Kuo. 1998. Production of lowland and upland rice to soil water deficits in different crops. I. Differences in growth and yield. J. Agric. Res. China 47: 95-107. (in Chinese with English abstract)

Lichtenthaler, H. K. and J. A. Miehe. 1997. Fluorescence imaging as a diagnostic tool for plant stress. Trends Plant Sci. 2:316-320.

Mahrt, L. and D. Vickers. 2002. Relationship of area averaged carbon dioxide and water vapour fluxes to atmospheric variables. Agric. For. Meteorol. 112:195-202.

Mishra, H. S., T. R. Rathore, and R. C. Pant. 1990. Effects of intermittent irrigation on groundwater table contribution irrigation requirement and yield of rice in Mollisols of the Tarai region. Agric. Water Manage. 18:231-241.

Moffatt, J. M., R. G. Sears, and G. M. Paulsen. 1990. Wheat high temperature tolerance during reproductive growth. I. Evaluation by chlorophyll fluorescence. Crop Sci. 30:881-885.

Peng, S. and D. R. Krieg. 1992. Gas exchange traits and their relationship to water use efficiency of grain sorghum. Crop Sci. 32:386-391.

Pieters, A. and S. El Souki. 2005. Effects drought during grain filling on PSII activity in rice. J. Plant Physiol. 162:903-911.

Schonfeld, M. A., R. C. Johnson, B. F. Carver, and D. W. Mornhinweg. 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. Crop Sci. 28:526-531.

Schreiber, U., W. Bilger, and C. Neubauer. 1994. Chlorophyll fluorescence as a nonintrusive indicator for rapid assessment of *in vivo* photosynthesis. p. 49-70. *in*: Ecophysiology of Photosynthesis. (Schulze, E. D. and M. M. Caldwell eds). Springer, Berlin.

Silva, J. and R. Santos. 2004. Can chlorophyll fluorescence be used to estimate photosynthetic production in the seagrass *Zostera noltii*? J. Exp. Mar. Bio. Ecol. 307 : 207-216.

Tezara, W. and D. W. Lawlor. 1995. Effects of water stress on the biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower. pp. 625-628. *in* : Photosynthesis : from Light to Biosphere. (Mathis, M. ed.). Kluwer Acad. Pub., Dordrecht- Berlin-London.

Tubiello, F. N., G. Lin, J. W. Druitt, and B. D. V. Marino. 1999. Ecosystem-level evapotranspiration and water use efficiency in the desert biome of biosphere 2. Ecol. Eng. 13:263-271.

Viets, F. G. 1962. Fertilizer and efficient use of water. Adv. Agron. 14:223-264.

Wallace, J. S. and C. H. Batchelor. 1997. Managing water resources for crop production. Phil. Trans. R. Soc. Lon. B. 352:937-947.

Wise, R. R., D. H. Sparrow, A. Ortiz-Lopez, and D. R. Ort. 1991. Spatial distribution of photosynthesis during drought in field-growth and acclimated and non-acclimated growth chamber-growth cotton. Plant Physiol. 100:26-32.

Wright, G. C., K. T. Hubick, and G. D. Farquhar. 1988. Discrimination in carbon isotope of leaves correlates with water-use efficiency of field-grown peanut cultivars. Aust. J. Plant Physiol. 15:815-825.

Yao, M. H. & S.H. Chen. 2005 a. Studies on absorption and emission of carbon dioxide in paddy field. J. Taiwan Agric. Res. 54:150-161. (in Chinese with English abstract)

Yao, M. H., S. H. Chen, and L. S. Liang. (2005 b.). Studies on meteorological resources use efficiency in rice. I. Radiation use efficiency. J. Taiwan Agric. Res. 54:123-134. (in Chinese with English abstract)

Yao, M. H., J. C., Tsai, and L. S. Liang. 2003. Measurement of vertical profiles and fluctuation on agrometeorological factor within and above a rice canopy. J. Agric. Res. China. 52:50-61. (in Chinese with English abstract)

Yordanov, I., T. Tsonev, V. Velikova, K. Georgieva, P. Ivanov, N. Tsenov, and T. Petrova. 2001. Changes in CO_2 assimilation, transpiration and stomatal resistance of different wheat cultivars experiencing drought under field conditions. Bulg. J. Plant Physiol. 27:20-33.

Studies on the Use Efficiency of Meteorological Resources for Rice. II. Water Use Efficiency.[1]

Ming-Hwi Yao[2,4], Shou-Hung Chen[2] and Shu Chen[3]

Abstract

Yao, M. H., S. H. Chen and S. Chen. 2005. Studies on the use efficiency of meterorological resources for rice. II. Water use efficiency. J. Agric. Res. Taiwan: 55:121-134.

There are several definition for water use efficiency (WUE). The aim of this study is to evaluate the water use efficiency of 27 rice cultivars with different scale and measurement. The results showed the CO_2 flux measured by Bowen ratio / energy system in field were consistent with the change of leaf area index. It could be used to decide the water use efficiency in non-stress rice field. The experiment in pot indicated the different water requirement among rice cultivars were related to the ratio of photosynthesis rate to transpiration rate of leaves. By the comparison with the leaves of 27 rice cultivars, it showed the water use efficiency in indica and upland rice are higher than japonica rice under drought treatment. It indicated the current japonica cultivars ought to improve the drought tolerance by means of breeding. In addition, the PSII electron transfer chain (ETR) of the fluorescence parameter of drought leaves could be used to quickly select the rice with high water use efficiency.

Key words: Rice (*Oryza sativa L.*), Evapotranspiration, Flux, Water use efficiency.

---

1. Contribution No.2258 from Agricultural Research Institute, Council of Agriculture. Accepted: June 10, 2006.
2. Respectively, Associate Researcher and Assistance, Agricultural Engineering Division, ARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
3. Assistance Researcher, Crop Germplasm Division, ARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
4. Corresponding author, e-mail: mhyao@wufeng.tari.gov.tw；Fax: (04)23331673.

台灣農業研究(J. Taiwan Agric. Res.) 55(2):135~141(2006)

期作對玉米籽粒果皮性狀表現之影響

謝 光 照

摘　　要

謝光照。2006。期作對玉米籽粒果皮性狀表現之影響。台灣農業研究 55：135-141。

本研究以台南白八個自交系爲材料，於 1997 年春、秋和裡作於農業試驗所進行田間試驗，待玉米籽粒達生理成熟期時採收烘乾，然後進行果皮性狀之調查。結果顯示，期作對籽粒重、發芽面果皮厚度、非發芽面果皮厚度、果皮含量、平均果皮厚度等性狀均達顯著影響。基因型間對所有調查之性狀均達極顯著之影響。而期作與基因型之交感作用僅對籽粒重和發芽面果皮厚度與非發芽面果皮厚度差值產生極顯著影響。期作間比較，顯示玉米籽粒重呈現秋作與裡作相近，但均大於春作。發芽面與非發芽面之果皮厚度呈現秋作最薄，其次是春作與裡作；平均果皮厚度爲春作與秋作較薄，而裡作最厚；果皮含量以秋作較少，春作與裡作則含有較多果皮。基因型相較顯示果皮厚度以 B 基因型最薄，其次爲 H 基因型，最厚者爲 E 和 G 基因型。果皮含量以 B 和 C 最少，最多者基因型 G。基因型在不同期作間果皮厚度雖有變化，但其趨勢呈現一致。

關鍵詞：玉米、期作、果皮厚度。

前　　言

臺灣位於亞熱帶，全年皆適合栽培玉米，主要的栽培季節在春作或秋作、裡作。春作播種期爲一月上旬至三月中旬，秋作則在八月下旬至九月底，十月以後播種者爲裡作，期作間氣象變化差異極大，通常春作由低溫、低濕度、短日照逐漸轉爲高溫、多濕及長日照之環境；而秋作則由高溫、長日照與多濕轉爲低溫、低濕及較短日照之環境；裡作則由中等溫度、中等日長及低濕度轉爲低溫、低濕度及較短日照，然後溫度再漸漸生高及日照長度漸長之氣象型態。筆者的研究顯示，玉米生長分化性狀在期作間有明顯的差異存在 (Shieh & Thseng 1993a)。故在不同的生長季節，常因氣象因子的變動玉米農藝性狀的表現呈現明顯的差異，且基因型與環境間常有交感作用存在 (Francis et al.1978; Hong et al. 1984; Kang & Gorman 1989; Wang et al. 1989；)。而有關玉米籽粒果皮其厚度和含量受環境的影響程度如何？Helm & Zuber (1969) 指出少比例的玉米自交系果皮厚度會受栽培環境所影響，而大部份的自交系在不同年度間其果皮厚度的排列順序非常一致，表示大部份自交系受環境因素影響的程度很小。

玉米果皮厚度和含量是影響鮮食用玉米 (green corn) 的重要因子，臺灣全年皆可栽培玉米，食用玉米年栽培面積約在一萬六千公頃左右，大部份栽培於春、秋及裡作，僅極少部份栽培於夏作，

---

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2259 號。接受日期：
2. 本所農藝組副研究員。臺灣 臺中縣 霧峰鄉。
3. 通訊作者，電子郵件：x486045@wufeng.tari.gov.tw；傳真機：(04)23302806。

因不同期作氣象環境的變化截然不同，其所生產的鮮食用玉米果皮之厚度和含量變化如何，尚有待瞭解。本研究目的即在探討期作對玉米籽粒果皮性狀表現之影響，以作爲鮮食用玉米栽培之參考。

材料與方法

本試驗所使用之八個自交系皆由台南白族群分離而得 (Shieh & Thseng 1999)，分別於 1997 年春作、秋作和裡作於農試所試驗田進行栽培。田間設計爲逢機完全區集設計 (RCBD)、四重複、八個自交系參試，每一自交系每重複種植 20 穴，每穴二粒播，待發芽長至 20 cm 左右時進行間苗，每穴留一株，行長 6 m。六行區，行株距 80 × 30 cm。公頃三要素肥料量爲 N：P2O5：K2O = 200：90：60。氮素 60 kg 及磷、鉀肥全量放於基肥時一次施用，其餘氮素 140 kg 則於齊膝期培土時施用。每個自交系採用人工套袋及授粉，授粉後再套袋以防其它基因型花粉之干擾，待籽粒達生理成熟期後，採收果穗烘乾後之籽粒爲材料。每個自交系每重複取 10 粒達生理成熟期扁平且充實飽滿之種子，作爲測定不同部位果皮厚度之材料。

玉米籽粒果皮剝取之方法，參考 Helm & Zuber (1970) 之報告稍作修正，其剝取及測定方法如下：1.達生理成熟期之種子，烘乾後稱其籽粒重，然後存放 10℃冷藏室內。2.剝皮時取出，先切下頂蓋 (tip cap)，然後將種子在室溫下浸水二 days 使種子質地變軟後，再以解剖刀進行剝取果皮。首先沿著發芽面 (germinal，胚所在之面) 切下發芽面之果皮，然後沿著非發芽面 (abgerminal) 切下非發芽面之果皮，最後取下冠蓋 (crown cap) 及側邊 (sides) 之果皮。3.剝下之果皮放置於體積比爲 1 水：3 甘油醇 (glycerol) 溶液中，過夜。4.倒掉溶液，取出果皮，用吸水紙將果皮表面擦乾。5.利用厚薄計測量發芽面、非發芽面上中下各三點之厚度，以平均值 (μm) 記錄之。測果皮厚度時，每重複調查 10 粒，每粒籽粒調查的性狀包含有：發芽面果皮厚度、非發芽面果皮厚度、冠蓋果皮厚度、側邊果皮厚度、整粒平均果皮厚度等五個性狀。每期作試驗設計爲完全逢機區集設計，八個自交系參試，四重複。所獲得之數據先以 SAS/GLM 進行合併變方分析及平均值顯著性比較。

結　　果

本研究以台南白八個自交系爲材料，於 1997 年春、秋和裡作在農業試驗所進行田間試驗，每個自交系均採人工套袋及兄妹授粉，授完花粉後再套袋，待玉米籽粒達生理成熟期時採收烘乾，然後進行果皮性狀之調查。三個期作之資料合併進行變方分析，分析之結果列於表 1。結果顯示，期作對籽粒重、發芽面果皮厚度、非發芽面果皮厚度、果皮含量、平均果皮厚度等性狀均達顯著影響，而對發芽面與非發芽面果皮厚度差值未達顯著差異。基因型間對所有調查之性狀均達極顯著之影響。而期作與基因型之交感作用，對籽粒重、發芽面果皮厚度、非發芽面果皮厚度、果皮含量、平均果皮厚度未有顯著之影響，但對籽粒重、發芽面果皮厚度與非發芽面果皮厚度差值產生極顯著影響。

合併八個基因型後之期作平均值列於表 2，期作間比較，顯示玉米籽粒重呈現秋作 (381.6 mg/kernel) 與裡作 (381.8 mg/kernel) 相近，但均大於春作 (318 mg/kernel)。發芽面果皮厚度，以秋作 (127.8 μm) 最薄，其次爲春作，最厚者爲裡作。非發芽面之果皮厚度呈現秋作 (135.1 μm) 最薄，其次是春作，但兩者之間無明顯差異，裡作果皮最厚；平均果皮厚度爲春作 (137.5 μm 與秋作 (136.6 μm) 較薄，而裡作最厚 (144.2 μm)；果皮含量以秋作 (7.01%) 較少，其次爲春作(7.67%)，

表 1. 三個期作和八個基因型玉米果皮性狀合併變方分析之均方值
Table 1. Combined ANOVA for maize pericarp characteristic of eight inbreds under three crop seasons

Source	DF	Kernel weight	Germinal thickness	Abgerminal thickness	Pericarp content	Average thickness	Difference between germinal and abgerminal
Block	3	934	249	247	0.02	118	524
Season (S)	2	86701**z	1339*	1272*	8.91**	1264*	192
Season/Block	6	686	166	229	0.59	160	141
Genotype (G)	7	23292**	12943**	15166**	22.51**	13816**	726**
S × G	14	7118**	714	1326	3.10	841	616**
Error	63	1582	1098	1792	2.66	1383	227

z *, ** Significant at 0.05 and 0.01 probability (F-test), respectively.

裡作 (8.06%) 則含有較多果皮。發芽面果皮厚度與非發芽面果皮厚度差值以春作相差最小 (-2.91 μm)，期作間無明顯差異存在。

合併三期作之基因型（表 2）相較，顯示籽粒重以基因型 C (309.2 mg/kernel) 和 H (313.5 mg/kernel)最輕，最重者爲基因型 E (463.5 mg/kernel)。發芽面果皮厚度，以 B 基因型 (76.9 μm)最薄，其次爲 H (107.2 μm) 基因型，最厚者爲 E (184.5 μm) 和 G (208.9 μm) 基因型。非發芽面之果皮厚度，以 B 基因型 (84.4 μm) 最薄，其次爲 C (114.0 μm) 和 H (114.7 μm) 基因型，最厚者爲 E (213.2 μm) 和 G (217 μm) 基因型。果皮含量以 B (5.57%) 和 C (6.26%) 最少，最多者基因型 G (11.25%)。平均果皮厚度，以 B 基因型 (80.8 μm) 最薄，其次爲 H (111.2 μm) 基因型，最厚者爲基因型 E (198.6 μm) 和 G (213.2 μm)。發芽面果皮厚度與非發芽面果皮厚度差值，以基因型 E (-28.42 μm)，相差最大，相差最小者爲基因型 D。同一籽粒不同部位間其果皮厚度也有所不同，基因型 C 和 F 呈現發芽面較非發芽面果皮厚，其餘基因型皆爲非芽面果皮較厚。期作與基因型之交感作用未達顯著，表示基因型在不同期作間果皮厚度雖有變化，但其排列趨勢呈現一致。

討　　論

玉米在台灣之栽培環境全年皆可生長，但可依生產的季節分爲春、夏、秋及冬季裡作四個季節，由於期作間生長之氣候環境不同，其籽粒產量及農藝性狀有顯著差異(Yang *et al*. 1991)。Hong *et al*. (1984) 以飼料玉米馬齒種 ×硬粒種之組合，比較籽粒產量在春、秋期作之變異，指出籽粒產量爲秋作大於春作；Shieh & Thseng (1993b) 之結果也顯示飼料玉米籽粒產量呈現秋作＞春作、冬季裡作。另以鮮食用玉米品種台南白之 F1 雜種爲材料，在春、夏、秋及冬季裡作進行比較試驗，結果呈現秋作與冬季裡作＞春作＞夏作。顯示不同栽培環境對台南白產量及農藝性狀的表現有顯著影響 (Shieh & Thseng 1999)，可能係春作屬早期－短期強勢型，秋作及冬季裡作（暖冬）玉米生長屬晚期－長期持續型，作物爲長期持續型者具有較高籽粒產量的潛力 (Morishima & Oka 1974,1975)，且

表 2. 不同期作與玉米基因型其籽粒重及果皮性狀平均值之比較

Table 2. Compare of crop season and genotypes on the pericarp characteristics of maize

Season	Genotype	Kernel weight (mg/kernel)	Germinal thickness (μm)	Abgerminal thickness (μm)	Pericarp content (%)	Average thickness (μm)	Difference between germinal and abgerminal (μm)
Spring		318.0	136.1	139.1	7.67	137.5	-2.91
Fall		381.6	127.8	135.2	7.01	136.6	-7.34
Winter		381.8	140.6	147.5	8.06	144.2	-6.94
$LSD_{0.05}$		16.0	7.9	9.3	0.47	7.7	7.27
Genotype	A	357.8	128.2	131.8	7.18	130.2	-3.67
B		349.0	76.9	84.4	5.57	80.8	-7.50
C		309.2	122.9	114.0	6.26	118.5	8.92
D		336.3	129.7	131.2	7.55	130.6	-1.50
E		463.5	184.5	213.2	9.20	198.6	-28.42
F		389.7	120.2	118.3	6.82	119.3	1.83
G		364.9	208.9	217.0	11.25	213.2	-8.08
H		313.5	107.2	114.7	6.80	111.2	-7.42
LSD0.05		56.1	46.7	59.7	2.30	52.5	21.27
Spring	A	295.2	136.2	141.2	8.48	138.8	-5.00
B		241.2	77.0	78.8	5.59	78.0	-1.75
C		304.5	104.0	108.3	5.66	106.0	-4.25
D		280.0	122.2	116.5	7.30	119.2	5.75
E		372.7	218.5	258.0	11.45	237.0	-38.75
F		355.8	115.0	111.0	6.38	113.3	4.00
G		396.8	209.8	187.8	9.70	199.0	22.00
H		297.8	106.0	111.3	6.80	108.8	-5.25
Fall	A	382.0	124.5	124.8	5.95	124.8	-0.25
B		412.0	77.0	81.5	4.96	79.5	-4.50
C		315.8	127.5	111.5	6.00	119.8	16.00
D		350.3	131.8	146.5	7.90	139.3	-14.75
E		534.3	159.3	197.2	7.60	178.8	-38.00
F		362.2	118.5	121.8	6.64	120.0	-3.25
G		352.3	189.8	196.5	10.95	193.3	-6.75
H		344.3	94.3	101.5	6.12	98.0	-7.25
Winter	A	396.3	123.8	129.5	7.13	127.0	-5.75
B		393.8	76.8	93.0	6.17	85.0	-16.25
C		307.3	137.3	122.3	7.14	129.8	15.00
D		378.8	135.3	130.8	7.45	133.3	4.50
E		483.5	175.8	184.3	8.55	180.0	-8.50
F		451.3	127.0	122.3	7.44	124.8	4.75
G		345.8	227.3	266.8	13.10	247.3	-39.50
H		298.5	121.5	131.3	7.48	126.8	-9.75
$LSD_{0.05}$		56.1	46.7	59.7	2.30	52.5	21.27

秋作、冬季裡作玉米之籽粒充實期適逢低溫，春作則為高溫，在低溫下有較高比例的光合產物分配至果穗部位之籽粒 (Hunter *et al*. 1977)，又因籽粒充實期呈現秋作、冬季裡作長於春作，以致於籽粒產量呈現秋作及冬季裡作＞春作。夏作的玉米，不論營養生長期或籽粒充實期均處於高溫多濕，不利於植株生長及籽粒充實，故四個生長期作中，夏作的產量呈現最低產。本試驗之結果也顯示秋作與裡作其籽粒重大於春作。而鮮食用玉米台南白籽粒產量之表現存在基因型與期作有交感作用 (Shieh & Thseng 1999)。

美國、西非、加勒比海等地區之居民，偏愛黃色胚乳，常在玉米果穗未成熟前採收食用 (Spaner & Brathwaite 1996)，而東南亞、台灣及中國大陸沿海的消費者則偏好白胚乳的玉米，於乳熟期採收食用當作休閒之消費品。果皮的厚薄對鮮食用玉米品質有很大的影響，在台灣鮮食用白玉米以台南白為主，不同季節所生產之台南白玉米其果皮厚度及含量是否有差異呢？本研究以八個玉米自交系為材料，結果發現台南白同一籽粒不同部位其果皮厚度有差異存在 (Shieh 2004)；不同的自交系間其果皮厚度和含量存在極大的差異。不同期作間，發芽面與非發芽面之果皮厚度呈現秋作最薄，其次是春作與裡作；平均果皮厚度為春作與秋作較薄，而裡作最厚；果皮含量以秋作較少，春作與裡作則含有較多果皮。可能係由於胚乳成長的過程中，在秋作較適合玉米籽粒充實的環境下，加上有較多的光合產物供給籽粒，造成較大的膨脹導致較薄的果皮，故一般秋作所生產之鮮食用玉米果皮較其它期作來得薄。而不同的基因型在期作間其果皮之厚度雖有差異，但基因型的排列順序是一致的，即基因型與期作之交感作用不存在。此結果與 Helm & Zuber (1969) 認為氣象因子對不同玉米基因型果皮厚度的影響是一致的，不存在交感作用頗為相符。

引用文獻 (Literature cited)

Francis, C. A., M. Prager and D. R. Laing. 1978. Genotye ×environment interactions in climbing bean cultivars in monoculture. Crop Sci. 18:242-246.

Helm, J. L. and M. S. Zuber. 1969. Pericarp thickness of dent corn inbred lines. Crop Sci.9:803-804.

Helm, J. L. and M. S. Zuber. 1970. Effect of harvest date on pericarp thickness in dent corn. Can. J. Plant Sci. 50:411-413.

Hong, M. C. Tu, H. and F. S. Thseng. 1984. Variation of yield formation of maize in spring and fall cropping season. J. Agric. Asso. China125:61-70. (in Chinese with English abstract)

Hunter, R. B., M. Tollenaar and C. M. Breuer. 1977. Effects of photoperiod and temperature on vegetative and reproductive growth of a maize (*Zea mays* L.) hybrid. Can. J. Plant Sci. 57:1127-1134.

Kang, M. S. and D. P. Gorman. 1989. Genotype × environment interaction in maize. Agron. J. 81:662-664.

Morishima, H. and H. I. Oka. 1974. Analysis of genetic variation in plant type of rice. Ⅵ. Intervarietal in growth pattern on obtained from the international rice adaptation experiment. Jpn J. Breed. 24:226-236.

Morishima, H. and H. I. Oka. 1975. Comparison of growth pattern and phenotypic plasticity between wild and cultivated rice strains. Jpn J. Genet. 50:53-56.

Shieh, G. J. and F. S. Thseng. 1993a. Effects of kernel type and crop seasons on the variations of growth and differentiation traits in maize. J. Agric Res. China 42:121-132. (in Chinese with English abstract)

Shieh, G. J. and F. S. Thseng. 1993b. Variation of grain yield and agronomic traits, in maize due to crop seasons and different kernel kernel-type combination. J. Agric Res. China 42:345-355. (in Chinese with English abstract)

Shieh, G. J. and F. S. Thseng. 1999. Yield potential of F1 hybrids derived from Tainan-white maize populations grow in different crop season. J. Agric Res. China 48:22- 39. (in Chinese with English abstract)

Shieh, G. J. 2004. Thickness and surface area variations of Tainan –white maize percarp. J. Agric Res. China 53:201-206. (in Chinese with English abstracts)

Spaner, D., R. A. I. Brathwaite and D. E.Mather. 1996. Diallel study of open-pollinated maize varieties in Trinidad. Euphytica 90:65-72.

Wang, C. S., P. Y. Wang and D. J. Liu. 1988. Growth responses of corn to temperature and photoperiod. J. Agric Res. China 37:379-388. (in Chinese with English abstracts)

Yang, W. H., Y. C. Huang, M. T. Tseng and S. S. Huang. 1991. Effect of environmental factors on agronomic traits of Tainan-white maize population. Chinese Agron. J. 1:293-308. (in Chinese with English abstracts)

The Effects of Crop Season on the Pericarp Characteristics in Maize[1]

Guang-Jauh Shieh [2,3]

Abstract

Shieh, G. J. 2006. The effects of crop seasons on the pericarp characteristics in maize. J. Taiwan Agric. Res. 55:135-141

Eight inbred lines derived from Tainan-white populations, planted at Wufeng, at spring, fall, and winter crop seasons of 1997. The sibmating seeds were used to study the pericarp characteristics. The result of the analysis of variance showed that the crop seasons and genotypes were significant difference across the four crop seasons for most pericarp characteristics, excepted crop season on the difference between germinal and abgerminal. And the crop season x genotype interaction were not significant difference at pericarp thickness and content. The performance of kernel weight of inbred lines at fall and winter was larger than the spring. The pericarp thickness of inbred lines has thinner pericarp at fall than the winter and spring. Sometimes, at fall crop season, the inbred lines possess lower pericarp content. The B inbred line has thinner pericarp and lower content, and the G and E inbred lines has thicker pericarp and most pericarp contents.

Key words: Maize, Crop season, Pericarp thickness.

1. Contribution No.2259 from Agricultural Research Institude, Council of Agriculture. Accepted :
2. Associate Agronomist, Agronomy Division, ARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
3. Corresponding auther, e-mail: x486045@ wufeng. tari. gov. tw ; Fax : (04)23302806.

台 灣 農 業 研 究 稿 約

一、本刊為行政院農業委員會農業試驗所發行之學術性季刊，刊登農業試驗研究相關之研究稿件：

論　　說：由本所邀請專家撰寫。

研究報告：關於農業科學未曾發表之研究報告，按題目、作者、摘要、前言、材料與方法、結果、討論、結論〈可略去〉、誌謝（可略去）、引用文獻等依序撰寫，圖與表附於其後，全文以不超過 10 印刷頁為原則。

研究簡報：關於農業科學未曾發表之簡短原始研究報告，不需分章節撰寫，但需附中英文摘要，全文以不超過 4 印刷頁為原則。

二、稿件應以中文或英文撰寫。來稿請送原稿及電子檔案各一份〈內各附照片原圖，繪製圖版可附原圖與影印圖片二份〉。文稿以 A4 大小之白色紙張（長 29.6 公分，寬 21 公分）兩倍行高 (double space) 打字，12 號字體，左邊對齊，版面應上下預留 3 公分，左右 2 公分之空間，並自第二頁起在右下角以阿拉伯數字註明頁數。撰寫時，中文以細明體、英文以 Times New Roman 字體打字；英文字距一格，句距二格。審查接受之稿件，隨文請附紙本文稿一份與電子檔案，以利電腦排版等作業。

三、稿件格式：

題　　目：宜簡短，能充分反應文旨，並附簡題 (Running title) 。英文題目除介系詞、連接詞等字外，每字第一字母應大寫。題目附小註，說明研究報告編號。

作　　者：作者姓名置中，中文名字間空一格；英文姓名則名在前姓氏在後，作者二人或二人以上時，以 “，” 相隔，最後一人前加 “and” 字樣，其表示方法如 Chen-Seng Huang, Chen-Chang Chen and Chyr-Guan Chen。每一作者需附小註，以說明所屬機關單位，通訊作者須附電子郵件信箱與傳真機號碼。題目與作者同置第一頁。

摘　　要：不分段落、宜簡潔明確。摘要之前應加作者、年代、題目、期刊、卷期及頁數，摘要之後應附關鍵詞 (Key words)，關鍵詞不超過五個，每個英文關鍵詞第一字母應大寫。摘要以不超過五百字為原則。以中〈英〉文發表者須附英〈中〉文摘要，置於本文之後，且內容須與中〈英〉文摘要相符，並附稿件編號、作者、通訊作者之小註。

本　　文：依序為前言 (INTRODUCTION)、材料與方法 (MATERIALS AND METHODS)、結果 (RESULTS)、討論(DISCUSSION)、結論(CONCLUSION)、誌謝(ACKNOWLEDGEMENTS)、引用文獻(LITERATURE CITED)。除學名、專有名詞、化學式、數學公式、數字、度量衡單位及縮寫外，文句中不得中外文並用，須使用英（外）文以助明瞭時，須將英（外）文括號置於中文之後。材料與方法、結果兩部份如有必要須分章節，每一章節內並可再分小章節，以助明瞭文稿內容。章節題目 (heading) 單行置於該章節之前，小章節題目 (subheading) 直接置於小章節之首。

表　　格：

1、每一表格應分別繕製，須以 word 中 “表格” 工具製作，上方須有標題，並按文中出現順序加上表 1 (Table 1.)，表 2 (Table 2.) 等冠號。

2、中文稿之表格標題應中英文並列，冠號與表幅齊頭，表內項目及內容以英文書寫。英文標題及各欄英文細目，除第一字之第一字母大寫外，餘均小寫。

3、表格應加分析、簡化與歸納後始可列表。每一表格應在文中標示清楚，以便對照。

4、表中內容如需說明，均須附加小註，以 z, y, x,…等縮小小寫字母置於右上角，並於表下依次敘述。表格僅列橫線。

5、性質類同之圖與表，務請精簡與合併。

圖　片：

1、圖版以黑色墨水分別繪圖紙或描繪紙（白色透明紙）上。如以電腦繪圖，請以鐳射印表機或同規格之印表機列印，力求清晰。

2、圖中加註者，應於圖中說明，或以括號註明於標題之後。

3、照片以光面紙爲原則，清晰度以縮小 50%可判讀爲宜。多幅照片儘量製成併版；如有特別指明，應加圈或箭頭表明。顯微照相，應加比例尺大小；照片大小以不超過版面 (25 cm × 18 cm) 爲宜。

4、圖版及照片下方應有標題（或另頁繕寫），並按文中出現的順序加上圖 1 (Fig.1)、圖 2 (Fig.2) 等冠號，在文中須標示清楚，以便對照。中文稿應中英文併寫，力求明確。

5、除併圖外，每一圖片應單頁製作。

6、照片、圖片背面應註上冠號及作者姓名，以免排印錯誤。

誌　　謝：不分段落，包括人物、經費來源等。誌謝可略去。

引用文獻：

1、引用文獻 (Literature cited) －列舉確實曾引用之文獻。文獻以登載於學術性期刊、書籍、研討會之 文章及學位論文爲限。文中涉及引用文獻時，根據該文獻的作者與年代加以括號：如 (Sung 1991)、(Lo 1991，1992)、(Chen & Ho 1983)、(Sung 1991; Hsu *et al*. 1992) ，置於引用文處。

2、文獻須以英文撰寫，以姓名字母爲序。作者相同時以年代先後爲序。

3、文獻之書寫方法以期刊爲例，依序爲作者、年代、題目、期刊、卷期、頁數。

4、期刊名須用縮寫，縮寫方式參照美國出版之 "Serial Sources for the BIOSIS Previews Database" 規定。

5、文獻書寫範例如下：

(1) 原中文報告引用文獻出自學術性期刊

Hsu, S. H., T. Y. Chung, T. C. Kuo, and S. F. Wang. 1992. Studies on the micro-climate of greenhouse. I. Light environment of greenhouse. J. Agric. China 157:34-43. (in Chinese with English abstract).

(2) 原中文報告引用文獻出自著作性書籍

Sung, J. M. 1991. Nitrogen Metabolism of Rice. Chinese Agronomy Press, Taipei. 100 pp. (in Chinese).

(3) 原中文報告引用文獻出自編輯性書籍

Yang, C. M. and C. Y. Lin. 2003. Studies on rice precision farming system. p.1-12. *in*: Rice Precision Farming System. (Yang, C. M. and C. Y. Lin, eds.) Agric. Res. Inst. Pub. Taichung. (in Chinese with English abstract).

(4) 原中文報告引用文獻出自研討會專刊

Chang C. A. 2001. Application and extension of virus-free seedling for the control of virus diseases of passionfruit in Taiwan. p.31-38. *in* the Proceeding of Symposium on Application of Healthy Plant for Control of Plant Diseases. Taiwan Phytopathol. Soc. Pub. Taichung. (in Chinese with English abstract).

四、單位、縮寫格式、括號及統計分析

1. 所有度量衡均採公制，數量如用中〈英〉文數字，單位以中〈英〉文全名表示；數量如用阿拉伯數字，單位以 SI units 爲準，如一公尺 (one meter, 1 m) 、二公克(two grams, 2 g) 、三公升 (three liters, 3 L) 、四毫升 (four milliliters, 4 mL) 。各常用之縮寫單位參照說明如下：

(1)長度：公里 (km)、公尺 (m)、公分〈=厘米〉(cm)、公釐〈=毫米〉(mm)、微米 (μm)。

(2)重量 (W)：公斤 (kg)、公克 (g)、μg。

(3)容積 (V)：公升 (L)、公撮〈=毫升〉(mL)、μl。

2. 溫度：攝氏（℃)、絕對溫度 (K，但須加以說明) 。
3. 時間：年 (yr)、月 (mo)、週 (wk)、日〈天〉(day, days)、時 (hr)、分 (min)、秒 (sec)。
4. 濃度：莫耳 (M)、千分之一莫耳 (mM)、當量 (N)、千分之一當量 (mN) 。
5. 重力加速度：*g*。
6. 其他之縮寫：平均 (*av*)、大約 (*ca*)、直徑 (diam.)。
7. 括號：括號內文為西文者，使用半形括號 ( )，括號前後各空一格；括號內文為中文或日文者，使用全形括號（　），前後不空格。
8. 統計分析：達顯著性水準以*、**或處理間顯著差異區分，以 a、b、c、...表示者均應加註顯著機率值 *P*〈例如 $P<0.01$〉；各統計量請採慣用符號，例如相關係數 (*r*) 、決定係數 (R)、變異係數 (cv)、標準機差 (se) 等。

五、生物學名以斜體字表示，屬名第一字母大寫。學名於摘要、本文、每一圖表中第一次出現時，須寫全名，如 *Citrus sinensis*；第二次出現時，屬名保留第一字母後加句點 “.”，種名全寫，如 *C. sinensis*。生物學名於本文中首次出現時應加註命名者。

六、稿件內容務須依照上列規定格式書寫，本期刊編輯委員保有修改與退稿之權利。文稿經本期刊接受後，作者得送含文稿內容之磁片或電子檔案 (IBM 相容電腦之文書管理檔，如 Word 檔或其他) ，並由作者負責前二校。除筆誤與錯字外，作者在校稿時，不得擅自更改內容與數據。

七、投稿本期刊之稿件，不得投稿其他刊物。稿件經本期刊接受後，刊登權屬農試所所有，非經本所書面同意，不得轉載或移轉他處發表。

八、來稿經編審委員會審查合格後刊登，由本刊印贈抽印本 50 本；彩色頁印刷及抽印本加印費用由投稿人自行負擔。

九、其他未盡事宜本期刊得隨時修正或補充。

台灣農業研究

(原中華農業研究)

第五十五卷　第二期

中華民國九十五年六月出版

發行人：林俊義

總編輯：安寶貞

主　編：吳宜晏　蕭淑芬　黃淑華　楊舜臣

編審委員：

農藝組：吳明哲（主審）
呂秀英　陳一心　楊純明　劉新裕

園藝組：歐錫坤（主審）
王德男　施昭彰　徐信次　劉政道
黃肇家

農化組：廖慶樑（主審）
郭鴻裕　劉慧瑛　簡宣裕

植病組：張清安（主審）
安寶貞　程永雄　蔡武雄　鄧汀欽

應動組：王清玲（主審）
何琦琛　陳炳輝　陳健忠　鄭　允

農機組：蔡致榮（主審）
黃禮棟　梁連勝

種原組：黃勝忠（主審）

農經組：潘德芳（主審）

另聘請各大學院校及研究機關相關學者專家擔任審查委員

Vol. 55, No. 2 Jun. 2006

JOURNAL
OF
TAIWAN AGRICULTURAL RESEARCH

(Formerly Journal of Agricultural Research of China)

PUBLISHER: Lin, Chien-Yih

EDITOR IN CHIEF: Ann, Pao-Jen

EDITORS:

Wu, Yi-Yan Shiau, Shu-Fen Huang, Shu-Hua Yang, Shem-Chem

EDITORIAL BOARD:

Chang, Chin-An (Plant Pathology)
Ou, Shyi-Kuan (Horticulture)
Tsay, Jyh-Rong (Agriculture Engineering)
Liaw, Ching-Liang (Agriculture Chemistry)
Wang, Chin-Ling (Applied Zoology)
Wu, Min-Tze (Agronomy)
Huang, Sheng-Chung (Crop Genetic Resources)
Pan, Te-Fang (Agriculture Economics)

EDITORIAL ADVISORY BOARD:

Chen, Bing-Huei
Chen, Chien-Chung
Chen, Yi-Shin
Cheng, Edward Yun
Cheng, Yung-Hsiung
Chien, Shiuah-Yuh
Deng, Ting-Chin
Guo, Horng-Yuh
Ho, Chyi-Chen
Hsu, Hsin-Tszu
Huang, Chao-Chia
Huarng, Li-Duhng
Liang, Lien-Sheng
Liou, Pan-Chi
Liou, Tsung-Dao
Liu, Huey-Ing
Liu, Sin-Yie
Lu, Hsiu-Ying
Shih, Jau-Chang
Tsai, Wu-Hsiung
Wang, Der-Nan
Yang, Chwen-Ming

Reviewers of the related fields are also invited from universities and other research organizations

台灣農業研究第五十五卷第二期

編　　者：行政院農業委員會農業試驗所

發 行 人：林俊義

發 行 所：行政院農業委員會農業試驗所

地　　址：台中縣霧峰鄉 413 萬豐村中正路一八九號

網　　址：htpp://www.tari.gov.tw

電　　話：(04)2330-2301～5

編　　輯
印 製 者：采京藝術印刷有限公司

地　　址：台中市西屯區河南路二段二六二號十三樓之九

電　　話：(04)2452-7929

中 華 民 國 **95** 年 **6** 月 出 版

Jun. 2006

Journal of Taiwan Agricultural Research

(Formerly Journal of Agricultural Research of China)

Vol. 55, No.2

Feature Article

Application of Stable Isotopes in Agriculture and Environmental Studies
Tsung-Ren Peng, Tsang-Sen Liu and Hsing-Juh Lin 79

Research Report

Disease Assessment of Powdery Mildew on Melon with Cultured Leaf Method
Jin-Hsing Huang, Chaur-Tsuen Lo and Ting-Fang Hsieh 91

Effectiveness of Spinosad Bait in the Control of the OrientalFruit Fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel), (Diptera: Tephritidae) in Citrus Orchard
Kun-Yaw Ho, Shi-Cheng Hung, Chien-Chung Chen and Yung-Hsiung Cheng 101

Control Effect of *Mallada basalis* on Insect Pests of Nethouse Sweet Peppers
Chiu-Tung Lu and Chin-Ling Wang 111

Studies on the Use Efficiency of Meteorological Resources for Rice.
II. Water Use Efficiency.
Ming-Hwi Yao, Shou-Hung Chen and Shu Chen 121

The Effects of Crop Season on the Pericarp Characteristics in Maize
Guang-Jauh Shieh 135

Published by **The Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture** Taichung, Taiwan, Republic of China

行政院新聞局出版事業登記證局版臺省誌字第二九八號　中華郵政中臺字第〇三〇九登記為雜誌交寄

ISSN 0022-4847

GPN 2009500560

定價：新台幣一七五元